



Universidad Autónoma de Chiapas

Facultad de Ingeniería

Campus-I



**Ensayos de simulación hidrológica para analizar riesgos de
desbordamiento e inundación, en la microcuenca 24 de
Junio, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

Maestra en Ingeniería con formación en Hidráulica

PRESENTA:

María Stefany Gordillo Martínez PS1891

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Moisés Silva Cervantes

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; Junio de 2023.



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
19 de junio del 2023
Oficio No. F.I.01.1048/2023

**C. MARÍA STEFANY GORDILLO MARTÍNEZ
ALUMNA DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA
CON FORMACIÓN EN HIDRÁULICA
PRESENTE.**

Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

**“ENSAYOS DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA PARA ANALIZAR RIESGOS DE
DESBORDAMIENTO E INUNDACIÓN, EN LA MICROCUENCA 24 DE JUNIO, TUXTLA
GUTIÉRREZ, CHIAPAS”.**


CERTIFICO el VOTO APROBATORIO emitido por este jurado, y autorizo la impresión de dicho trabajo para que sea sustentado en su Examen Profesional para obtener el grado de Maestra en Ingeniería con Formación en Hidráulica.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**ATENTAMENTE
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”**



**DR. OMAR ANTONIO DE LA CRUZ COURTOIS
ENCARGADO DE DIRECCIÓN**



Ccp. Dr. Humberto Miguel Sansebastián García. Coordinador de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería, Campus I. UNACH.
Archivo/minutario
→ OACC/HMSG/tcpg*



Código: FO-113-05-05

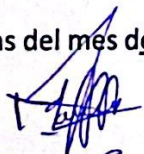
Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Mario Stefano Gardillo Martínez,
Autor (a) de la tesis bajo el título de "Ensayos de simulación hidrológica para analizar riesgos de desbordamiento e inundación, en la microcuenca 24 de Junio, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas."
presentada y aprobada en el año 2023 como requisito para obtener el título o grado de Maestría en Ingeniería con formación en Hidráulica, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional del Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 21 días del mes de Junio del año 2023.


Mario Stefano Gardillo Martínez

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

AGRADECIMIENTOS

A Dios por todas las bendiciones, que me ha permitido culminar una meta más en mi vida.

A mi esposo Daniel, por apoyarme en el trayecto, que, sin duda alguna, me ha demostrado su gran apoyo incondicional celebrando mis triunfos.

A mi familia, que me ha enseñado que la unión hace la fuerza.

A mi director de tesis Dr. Moisés Silva Cervantes, y asesores Dra. Delva del Rocío Guichard Romero, Mtro. Juan José Muciño Porras, por su profesionalismo ante el campo de enseñanza y aprendizaje, al inicio y término de este camino.

A la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), por darme la oportunidad de formarme profesionalmente en el Facultad de Ingeniería - Campus I.

Al Centro de Estudios para el Desarrollo Municipal y Políticas Públicas (CEDES), a través de la Dra. Andrea Mena Álvarez - Coordinadora General, que sin duda ha permitido desarrollarme y formarme profesionalmente.

A la Mtra. María Honorata Morales, por su apoyo incondicionalmente y ser mi e inventora profesionalmente.

A mis amigos; Juan Carlos Tevera, Julio Guillen, Rolando Antonio, Víctor Ortiz, Julio Cesar Aguilar, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas, a lo largo de este proceso, estuvieron siempre apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

A todos/as, ¡Gracias!

Índice

CAPÍTULO 1

I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- JUSTITIFICACIÓN	5
III.- OBJETIVO	6
2.1.- Objetivo general	6
2.2.- Objetivo específicos	6
IV.- MARCO TEÓRICO	7
4.1.- Hidrología	7
4.2.- Ciclo hidrológico	7
4.3.- Precipitación	8
4.4.- Tipos de precipitación	9
4.5.- Medición de la precipitación	10
4.6.- Elementos de una tormenta	12
4.7.- Curvas de intensidad duración y frecuencia	12
4.8.- Histogramas	13
4.9.- Método del bloqueo alterno	13
4.10.- Intercepción	14
4.11.- Infiltración	15
4.12.- Transpiración evapotranspiración	16
4.13.- Sub-cuenca y red hidrográfica	18
4.14.- Escurrimiento	18
4.15.- Vegetación y uso de suelo	19
4.16.- Modelos de simulación hidrológica	19
4.17.- Modelos de simulación hidrológica	20
4.17.1.- El proceso de modelación	20
4.18.- Vulnerabilidad y riesgo de inundación	21

V.- ANTECEDENTES	22
------------------------	----

CAPÍTULO 2

VI.- ÁREA DE ESTUDIO	24
VII.- METODOLOGÍA	27
7.1.- Base de datos de precipitación	27
7.2.- Simulación hidrológica.....	28
7.3.- Número de curva	28
7.4.- Modelo Hidrológico en Blukenu 64	30
7.5.- Histograma de diseño	31
7.6.- Simulación del programaBlukenu 64	31

CAPÍTULO 3

VIII.- RESULTADOS	32
IX.- PROPUESTA	47
X.- DISCUSIÓN	55
XI.- CONCLUSIÓN	59
XII.- RECOMENDACIONES	61
XIII.- REFERENCIAS	62

ANEXOS

Índice de tablas

Figura 1.- Ciclo Hidrológico	7
Figura 2.- Pluviómetro simple	10
Figura 3.- Pluviómetros registradores	11
Figura 4.- Pluviómetros	11
Figura 5.- Ubicación de la microcuenca del río 24 Junio.....	24
Figura 6.- Distribución de colonias situadas en la Microcuenca 24 de Junio.....	25
Figura 7.- Fotografía de las 3 zonas; alta, media y baja de la microcuenca 24 de Junio.	26
Figura 8.- Esquema del proceso de simulación	29
Figura 9.- Hietograma de diseño para un periodo de retorno 2 años de la microcuenca 24 de Junio.	32
Figura 10.- Hietograma de diseño para un periodo de retorno 5 añosde la microcuenca 24 de Junio.	32
Figura 11.- Hietograma de diseño para un periodo de retorno 10 añosde la microcuenca 24 de Junio.	33
Figura 12.- Hietograma de diseño para un periodo de retorno 20 añosde la microcuenca 24 de Junio.	33
Figura 13.- Hietograma de diseño para un periodo de retorno 50 años de la microcuenca 24 de Junio.	34
Figura 14.- Hietograma de diseño para un periodos de retorno 100 añosde la microcuenca 24 de Junio.....	34
Figura 15.- Hietograma de diseño para un periodos de retorno 2,5,10,20, 50 y 100 añosdela microcuenca 24 de Junio.	35
Figura 16. Velocidades máximas.....	36
Figura 17. Tirantes máximos	37
Figura 18. Velocidades máximas.....	38
Figura 19. Tirantes máximos	38
Figura 20. Velocidades máximas.....	39
Figura 21. Tirantes máximos	40

Figura 22. Velocidades máximas.....	41
Figura 23. Tirantes máximos	41
Figura 24. Velocidades máximas.....	42
Figura 25. Tirantes máximos	43
Figura 26. Velocidades máximas.....	44
Figura 27. Tirantes máximos	44
Figura 28. Mapa de uso de suelo y vegetación de la microcuenca 24 de Junio	46
Figura 29.- Sitios estratégicos para la implementación de muros de retención de agua y suelos.	49
Figura 30. Esquema de la colocación de muros de retención de agua y suelos.	50
Figura 31. Lugares estratégicos para los topes con costaleras.	52
Figura 32. Lugares estratégicos para los topes con costaleras	53

Índice de tablas

Tabla 1. –Tabla devolúmenes de agua que aporta el Área de Recarga 1	48
Tabla 2. - Capacidades de obras de retención.....	50
Tabla 3. – Tabla de volúmenes de agua que aporta el Área de Recarga 2	51
Tabla 4. – Tabla de volúmenes de agua que aporta el Área de Recarga 3.....	53
Tabla 5.- Periodos de retorno 2 y 5 años de la microcuenca 24 de Junio.	66
Tabla 6.- Periodos de retorno 10 y 20 años de la microcuenca 24 de Junio.	68
Tabla 7.- Periodos de retorno 50 y 100 años de la microcuenca 24 de Junio.....	69

I.- INTRODUCCIÓN

México está constituido por una variedad de ecosistemas naturales , donde existen vínculos entre las regiones de las zonas altas , medias y bajas , a través de escurrimientos que crean una conexión física entre poblaciones alejadas unas de otras . Los territorios de las cuencas otorgan bienes y servicios ambientales invaluable para nuestra existencia como son el suministro de agua dulce , la regulación del caudal de los ríos , el mantenimiento de los regímenes hidrológicos naturales , la regulación de la erosión o la respuesta a eventos naturales extremos, entre otros (Balvanera y Cotler, 2009).

En México , la primera delimitación de las cuencas hidrográficas fue establecida por Antonio García Cubas , durante los años turbulentos previos a la Revolución. Posteriormente se establecieron esfuerzos institucionales para delimitar , cada vez con más exactitud, estas unidades hidrográficas: desde del siglo XXI, instituciones gubernamentales generaron un primer mapa consensuado de cuencas hidrográficas (INEGI-INECONAGUA, 2007).

CONAGUA e INEGI han estado impulsando temas relacionados a las cuencas hidrológicas enfatizando en la predicción hidrológica, sin embargo, no son suficientes los esfuerzos. La adquisición y adaptación de herramientas, sistemas y modelos matemáticos no solo requieren de un correcto funcionamiento, sino del mantenimiento y seguimiento adecuados, así como la evolución paulatina acorde a las necesidades que se van presentando día a día, para tener una mejora continua confiable (Pérez, 2015).

Uno de los eventos naturales que se presentan en las cuencas hidrológicas son las inundaciones y desbordamientos de agua en distintas zonas a causa de lluvias torrenciales. Las inundaciones son de los desastres naturales más comunes y se asocian a diferentes fenómenos atmosféricos, dando como resultado áreas vulnerables y en constante peligro para la sociedad. Es importante resaltar que los fenómenos naturales en la actualidad se ven magnificados como consecuencia de acciones antropogénicas (Alonso.P., 2005).

La llanura aluvial es un área geográfica que está compuesta por afluentes perennes, por ello es una zona atractiva para el desarrollo urbano. Gran parte de la población tiende a asentarse en estas áreas. Deforestar y ocupar dichas áreas, convierte a las llanuras de inundación en zonas vulnerables y críticas para el hábitat del ser humano. Las áreas densamente pobladas tienen mayor riesgo de sufrir inundaciones repentinas, ya que los edificios, autopistas, avenidas, calzadas, estacionamientos, etc., aumentan el escurrimiento al reducir la cantidad de lluvia absorbida por el suelo (Arias, F. y Heredia, V., 2004).

Las montañas y colinas son áreas con pendientes pronunciadas provocando un escurrimiento intenso, donde los ríos crecen rápidamente formando afluentes efímeros, teniendo como resultado inundaciones catastróficas. Es importante mencionar que el suelo saturado por lluvia también origina y refuerza la presencia de inundaciones repentinas (Casado, J., 2003).

La subcuenca del Río Sabinal, tiene un parteaguas que está delimitada de manera natural, Sin embargo la mala planeación de la extensión urbanizada en Tuxtla Gutiérrez tiene efectos negativos sobre la cuenca del río Sabinal; la deforestación hacia la parte alta ocasiona que con lluvias intensas exista alta posibilidad de desbordamientos y afectaciones a las viviendas.

La tala de árboles y el exceso de pavimentación hacia las colonias en las orillas ocasionando; que cuando llueve no haya una filtración adecuada, por lo contrario, los escurrimientos se incrementan y elevan rápidamente el nivel del río Sabinal; es entonces una cuenca enferma debido a la actividad humana. Cuando es tiempo de seca, este afluente llega a niveles muy bajos porque la vegetación no es suficiente para mantener los niveles de agua, entonces el líquido se filtra demasiado rápido (CONACULTA, 2008).

Dada la alta probabilidad de que ocurran eventos meteorológicos de gran intensidad, se pueden revivir episodios desafortunados como el ocurrido en 2005 en la cabecera municipal de Motozintla, donde el río atravesó el poblado debido a que la extensión urbanizada

interrumpió el sistema del afluente natural (Coordinación General de Protección Civil, 2008).

De acuerdo al Plan de Emergencia de Inundación presentado por el estado de Chiapas en el año 2003, el Río Sabinal presenta una problemática de corrientes convergentes donde los daños por inundaciones en gran parte son por los asentamientos humanos. Las zonas de riesgos son principalmente en zonas bajas, con daños severos porque el agua corre en mayor volumen y velocidad como consecuencia de la pérdida de la cobertura vegetal endémica.

En años recientes incrementaron los episodios de “zonas de arrastre” en Tuxtla Gutiérrez, donde las corrientes de agua descienden a gran rapidez e inundan partes de la ciudad, como en 2018, cuando un afluente entró por la parte trasera de una conocida plaza comercial al poniente (Coordinación General de Protección Civil, 2018).

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez presenta una mancha urbana en constante crecimiento. Desde el año 1972 la mancha urbana ha crecido exponencialmente lo que ha significado: cambio en el uso del suelo y vegetación, reorientación del curso tanto de aguas superficiales como naturales y falta de suficientes drenajes pluviales, entre otros problemas. Ello ha provocado el desbordamiento de los arroyos, como es ocurre en la microcuenca 24 de junio, con riegos de inundación en cada temporada de lluvias. Ante la falta de drenes pluviales, cada calle y cada avenida pavimentada, se convierten en nuevos afluentes efímeros que suelen presentar un riesgo para la ciudadanía (Salvador L. *et al.*, 2020).

La presente investigación se desarrolla en la microcuenca 24 de Junio en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez del estado de Chiapas, se sabe que anualmente se presentan eventos meteorológicos en esta zona de estudio, el análisis de precipitación en la zona permite obtener un panorama general de las fuertes lluvias, la falta de mediciones de lluvia delimitan estudios para la toma decisiones respecto a los eventos extremos presentes, debido a esto se contempla un modelo hidrológico que ayuden a predecir el comportamiento de lluvias y relacionarlo con el escurrimiento, a esto se le conoce lluvia-

escurrimiento. Con el fin de servir como soporte para planes integrales para recuperar la microcuenca; donde se incluirán áreas de conservación en las partes altas, donde se originan los escurrimientos violentos.

II.- JUSTITIFICACIÓN

Los eventos meteorológicos son parte del comportamiento natural en el entorno urbano. La ciudad de Tuxtla Gutiérrez, presenta eventos de inundaciones y escurrimientos efímeras que son las primeras causas más importantes de los desastres naturales en la ciudad.

Los problemas sociales y económicos que conllevan: pérdidas de vidas humanas ante los fenómenos naturales provocados ante el desarrollo urbanístico, así como también bienes económicos, culturales o naturales, gastos, inversiones de recuperación, disputas legales, que convergen a través de los eventos.

Los problemas hídricos han surgido la necesidad de diseñar obras de ingeniería, tanto cantidad y calidad no son fácilmente disponibles y sus dificultades es mayor aún, por otra parte, la planificación de la infraestructura y la adaptación tendrán una importancia fundamental.

Por ello se debe conocer y estudiar a través de las simulaciones hidrológicas que son una herramienta, que ayuda analizar los problemas y proveer una guía planteamiento de características físicas y geomorfológicas, mediante registros históricos y obtener un mejor funcionamiento de los afluentes.

En Chiapas, los registros de precipitación para las microcuencas que conforman la cuenca del Rio Sabinal están geográficamente dispersos, correspondientes a lecturas acumuladas y con un déficit de datos nulos, no se cuentan con datos históricos completos y precisos, careciendo de datos de años anteriores y estaciones sin funcionamiento así mismo la falta de mantenimiento de las estaciones, sin embargo, para el análisis de eventos extremos se pueden utilizar métodos estadísticos para procesar y analizar las tormentas de diseño, mediante.

En este estudio coadyuve presentar propuestas que aporten a predecir y atenuar los riesgos por el desbordamiento e inundaciones que prevalecen en la microcuenca 24 de junio que, sin duda, es una zona de riesgo para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, ya que es uno de los principales afluentes con mayores índices de riesgos.

III.- OBJETIVO

General

Analizar, predecir y contribuir a atenuar los riesgos por desbordamiento e inundación en la Microcuenca 24 de Junio, Tuxtla Gutiérrez.

Específicos

- Analizar la precipitación media anual de las estaciones meteorológicas.
- Realizar la simulación hidráulica de la microcuenca 24 de junio, mediante el software QGis 3.10 y Blukenu64
- Generar propuestas de intervención para la prevención de inundaciones.

IV.- MARCO TEÓRICO

4.1.- Hidrología

La Hidrología es la ciencia que estudia el agua de la tierra, superficial y subterránea, donde se definen varias ramas como la Oceanografía y Meteorología, en la Ingeniería se incluyen la hidrología que se puntualizan para el diseño, construcción y operación para el control y manejo del uso del agua (Wendor C. M., 2003).

4.2.- Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico, según Aparicio (2010), se representa el mecanismo del agua, que consiste en varios procesos como: la evaporación que es ascendente y descendente a causa de las lluvias, desarrollando tipos de escurrimientos superficiales y subterráneas, esta definición es tan simple como se muestra en la figura 1, que es la representación del ciclo hidrológico.

Figura 1.

Ciclo Hidrológico



Recuperado: (Arki&Arki, 2021).

Es importante considerar todas sus fases desde cualquier punto, como es la precipitación, evaporación, infiltración, escurrimientos superficiales.

Hiscock (2005), menciona que el ciclo hidrológico es un proceso continuo por medio del cual el agua es transmitida de los océanos a la atmósfera, a la tierra y vuelve al mar. Es importante mencionar que existen muchos sub-ciclos como es la evaporación del agua de los continentes y precipitación subsecuente; el sol es un elemento fundamental para este sub-ciclo, en el sistema de transporte del agua, donde provee la energía que se presenta en evaporación.

Las causas que afectan y alteran al ciclo hidrológico son los factores climáticos; la topografía del terreno, el clima, la radiación solar; sin embargo, a través de los años se han desarrollado una serie de métodos para las condiciones medioambientales en vista de favorecer el ciclo hidrológico.

4.3.- Precipitación

La precipitación es una fuente principal de humedad a través de ella se forman las nubes, posteriormente se presenta la evaporación que viene desde la superficie de los océanos.

El clima está compuesto de factores que determinan la humedad atmosférica de las regiones, estos factores son; altitud, continentalidad, corrientes marinas, latitud. De acuerdo a la definición, las lluvias, las granizadas, las garúas y las nevadas son formas distintas del mismo fenómeno de la precipitación (Aparicio, 2010).

Morán (1988), define la formación de la precipitación, debido a su calentamiento cerca de la superficie, motivado por diferencias de radiación, las masas de aire ascienden hasta alturas de enfriamiento suficientes para llegar a la saturación. Pero esto no es suficiente para generar la precipitación. Considerando que el aire esté saturado, para formar la neblina o gotas aguas cristales de hielo, se necesita la presencia de núcleos de condensación (en los primeros casos) o de congelamiento. Los núcleos de condensación se forman de productos de combustión, óxidos de nitrógeno y de partículas de sal; los núcleos de congelamiento

que contienen minerales arcillosos, siendo el caolín el más frecuente. Por ello la enucleación se forma finísimas gotitas de diámetro medio de aproximadamente 0.02 mm.

Las gotas de lluvia aproximadamente tienen un diámetro medio de 2 mm; desarrollando un aumento significativo en el volumen de las gotitas. Este cambio se presenta por la unión entre sí de numerosas gotitas y esta unión se explica por:

- Atracción electrostática a través de las gotas que se secundan las nubes;
- Micro-turbulencias dentro de la masa de la nube;
- El barrido de las gotas más finas por las gotas mayores;
- Diferencias entre temperaturas; las gotas más frías se aumentan a expensas de las más calientes.

Referente a la explicación anterior, la formación de las gotas de lluvia dentro de la masa de la nube, las gotas formadas llegarán a la superficie terrestre, es decir que el volumen de agua contenido en la nube es igual al volumen de agua llovida. Las mediciones realizadas demuestran que lo normal es que el agua de lluvia que cae a tierra sea mucho mayor que el agua contenida en la nube. La única explicación es que las nubes se realizan continuamente durante el proceso mismo de la formación de las precipitaciones, lo que significa una alimentación constante a partir del vapor de agua de los alrededores; esto causa principalmente:

- En el momento que hay una turbulencia dentro de la nube desarrolla la renovación del vapor de agua;
- Cuando hay un movimiento de aire húmedo a través de las partes bajas, esto es un movimiento vertical ascendente.

4.4.- Tipos de precipitación

Las precipitaciones se catalogan en tres grupos, según el factor responsable del levantamiento del aire que favorece el enfriamiento necesario para que se produzcan cantidades significativas de precipitación (Aparicio *et. al.*, 2015).

- Conectivas: facilita el ascenso de aires cálidos más livianos que el aire frío del ecosistema. Las diferencias de temperatura son el resultado de alteraciones de calentamiento en la superficie o en la capa superior de la capa de aire. La

- precipitación convectiva es precisamente puntual y la intensidad varía entre las lloviznas ligeras y aguaceros.
- Orográficas: es el ascenso del aire cálido hacia una cadena de montañas que consiguen padecer la ausencia de lluvias, dado que todas las nubes son interpretadas y precipitadas en el lado de donde las provienen.
- Ciclónicas: ocurren cuando hay un encuentro de nubes con temperaturas diferentes: las más calientes son impulsadas hacia las partes más altas donde precipitación presentando efectos que consisten en 3 tipos de enfriamiento están relacionadas siendo que la precipitación resultante no puede identificarse como de un solo tipo.

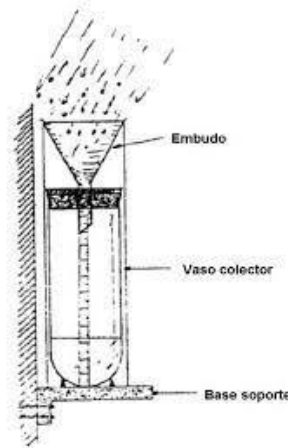
4.5.- Medición de la precipitación

De acuerdo Aparicio (1999) existen tres tipos de instrumentos que son los siguientes:

1.- Pluviómetros simples: es importante mencionar que cualquier recipiente abierto de paredes verticales pueden servir de pluviométrico, en el sistema métrico se mide en milímetro y décimos de milímetro. En cambio, es importante mencionar que las dimensiones de los instrumentos sean regularizadas para la toma de lectura de diferentes localidades.

Figura 2.

Pluviómetro simple



Recuperado: (*Pluviómetro & Pluvímetro*, 2017).

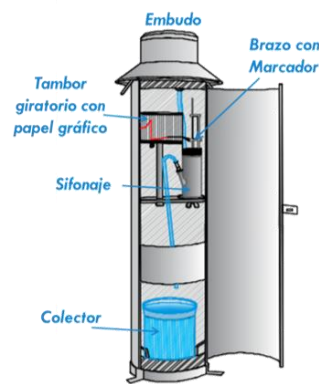
2.- Pluviómetros registradores (pluviógrafo): los pluviómetros simples sólo registran la cantidad de lluvia caída; no nos dicen nada acerca de la intensidad que ella adquiere en el

transcurso de la precipitación, lo cual se consigue con los pluviógrafos. La intensidad de la lluvia es un parámetro que consiste en un dato de alta importancia para el diseño de obras hidráulicas, por lo tanto, el agua es recibida por un embudo y conducida a un depósito con doble compartimiento, oscilante alrededor de un pivote (Aparicio, 1999).

El movimiento oscilante consiste en una aguja que va marcando su trazo en un papel embrulhado sobre una caja que gira a través de una oscilación de relojería. El resultado de ello, es un gráfico que recibe el nombre de pluviograma (Aparicio, 1999).

Figura 3.

Pluviómetros registradores

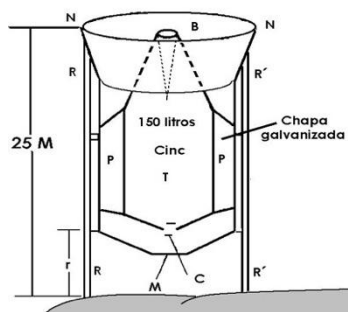


Recuperado:(Modelos Básicos de Pluviómetros, S. F.-C)

3.- Pluviómetros totalizadores: se utiliza cuando hay necesidad de conocer la pluviometría mensual o estacional de una zona de difícil acceso, donde solo se va unas pocas veces del año, estos pluviómetros acumulan el agua llovida durante un periodo de tiempo, para proteger el agua de la congelación se usa cloruro de calcio u otro anticongelante, para proteger de la evaporación una capa de aceite (Aparicio, 1999).

Figura 4.

Pluviómetros totalizadores



Recuperado:(Dinosaurios meteorológicos de montaña: los totalizadores de precipitación, s.f.)

4.6.- Elementos de una tormenta

Las tormentas son una resolución de la conexión que forman los cúmulos. El aire húmedo, que asciende en virtud a su menor densidad respecto del aire que lo rodea. Cuando esa burbuja de aire ascendente, se enfría hasta su punto de saturación, se forma un cúmulo, es decir, una célula convectiva. La formación de tormentas es probable cuando hay suficiente humedad, inestabilidad y ascenso (Villón, 2002), asimismo identifica a tres variables fundamentales para la tormenta o evento lluviosos.

1.- El volumen de la lluvia: es una lámina total presentada en el lapso de una duración de una tormenta, de forma que se puede definir que la magnitud de la lluvia es mediante la intensidad: considerando que es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo. De las tormentas lo más importante es la intensidad máxima que se haya presentado, es decir, la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo.

2.- Duración: se presenta en 3 tiempos que son: Duración de la tormenta: uno tiempo total transcurrido desde el inicio de la tormenta hasta su final, Intervalo de duración: es el tiempo transcurrido entre dos cambios de intensidad (pendiente) de la tormenta, Periodo de duración: es un periodo de tiempo determinado adoptado dentro del total que dura la tormenta, por lo general se habla de periodos de 5,10,15,20,30,60,120,240,360 minutos (Onate, 2004).

3.- La frecuencia: consiste en el número de veces que se repite en una tormenta, sus propiedades son la intensidad y duración que es en un periodo de tiempo más o menos largo, por lo común en años, se expresa por su periodo de retorno.

4.7.- Curvas de intensidad duración y frecuencia

Témez, (1978) y Chow, (1994), definieron que las curvas de intensidad es la relación que liga o vincula mediante duración, frecuencia, estas curvas muestran la probabilidad de ocurrencia de intensidades de lluvia en periodos cortos para distintas duraciones. Las curvas de intensidad y frecuencia también se tratan de un conjunto de curvas, cada una

indicando una determinada frecuencia de ocurrencia o un periodo de retorno expresado en años (Varela et al., 2004).

La visión para una estimación de crecientes en zonas urbanas, se utilizan para el diseño hidrológico, donde se desarrolla los sistemas de un drenaje, como son aguas pluviales, de evacuación y protección contra crecientes, donde se transforma diseños de escurrimientos tomando en cuenta las condiciones físicas de las cuencas urbanizadas.

Al tomar en cuenta las condiciones físicas actuales o futuras de las áreas o cuencas urbanas. La aplicación de estos métodos inicia desde las curvas intensidad duración frecuencia, las cuales representan las características más relevantes de las tormentas que ocurren en las diferentes zonas (Campos, 2010).

4.8.- Hietogramas

Es la forma gráfica de representar la lluvia o precipitación incremental, se presenta en forma de un diagrama de barra, cuyo objetivo es ver la variación de la precipitación, es decir, las crecientes y los estiajes.

4.9.- Método del bloqueo alterno

Este método es basado en las curvas de IDF, por su sencilla aplicación; las variables a utilizar son las lluvias máximas de duraciones individuales, es importante el promedio de precipitación para un antecedente a la intensidad pico, y también el coeficiente de avance de la tormenta, r . Mediante el coeficiente de avance de tormenta se estima el instante en que se produce la máxima intensidad de lluvia, t_p , ya que representa el cociente entre este, respecto a la duración total de la tormenta. Si $r = 0.5$ el pico de intensidad donde procede a la mitad de duración de la tormenta, mientras que si $r < 0.5$ estará adelantado y si $r > 0.5$ el pico ocurre después de la mitad de tiempo de la tormenta. Para obtener un valor adecuado de r se recomienda seleccionar una serie de tormentas de duraciones distintas y calcular la media ponderada de los coeficientes de avance de acuerdo con cada duración de evento (Cajamarca, 2017).

Los hietogramas se basan en la intensidad media de un conjunto de bloques, es igual a la intensidad obtenida mediante la curva IDF para cualquier intervalo de tiempo. El periodo de retorno de diseño, se interpreta que la intensidad en la curva IDF es correspondiente a la región con cada una de las duraciones. Los incrementos o bloques obtenidos se deben reordenar de manera que el bloque de intensidad máxima quede en el centro de la duración definida y el resto de bloques se sitúen en orden decreciente alternativamente a derecha e izquierda del bloque central (Chow, et al., 1988).

4.10.- Intercepción

La cubierta vegetal es importante en el momento de la intercepción, después de la precipitación, así como también la infraestructura que se extrae el terreno topográfico, es decir las características de la cobertura; no naturales, que es el desarrollo urbano donde prevalecen los edificios y construcciones entre otras. Las coberturas cumplen como interceptoras de la precipitación, alojando parte de esta y a su vez evaporándose en algún momento dado o pasando al suelo como tal.

Menciona Campos (1998), que la intercepción comprende tres principales componentes:

- Pérdidas por intercepción
- Precipitación no interceptada
- Flujo de los tallos

El flujo de los tallos comprende la cantidad de agua que ocurre a lo largo de las ramas y finalmente desciende sobre el tronco a la superficie del terreno.

Campos (1998) menciona que el 10 al 20% de la precipitación que cae sobre la cobertura vegetal existente, es interceptada y su vez regresada a la atmósfera por medio de la evaporación.

El proceso físico de la interrupción se da cuando las gotas hacen contacto con la cobertura vegetal, siendo así retenidas y almacenadas, sumándose hasta llegar gota tras gota, las cuales forman una gota más grande, la cual cae por gravedad y con ayuda del viento, este último juega un papel muy importante e interesante en este proceso, el viento reduce la capacidad de almacenamiento y acelera de evaporación en el entorno (José de Jesús N. C. *et al.*, 2007).

El tipo de cobertura puede tener valores intercepción diferentes, las zonas urbanas cuentan como medio intercepción, pero la cobertura vegetal es mínima para poder contabilizar, casi despreciable. En zonas urbanas la intercepción puede llegar a ser hasta el 100%, ya que el agua puede ser retenida en los techos de viviendas y edificios, caminos pavimentos, entre otros (Alvarado A. L.L. *et al.*, 2017).

Las zonas forestales son las principales fuentes de intercepción, debido al tamaño de la vegetación donde se presenta los follajes y su altura, los bosques de coníferas y para bosques de árboles con hojas caducas el índice de intercepción es grande hasta del 20%. En la cobertura de los pastos se cree que puedan competir en intersección con los bosques que van del 10% al 20% (Sadeghi, *et al.*, 2015).

Para medir la intercepción se utiliza la siguiente fórmula, la cual involucra los siguientes términos:

$$L = P - P_{in} - P_t$$

Donde:

L, pérdida brutal por intercepción

P, precipitación sobre la cubierta vegetal en mm.

P_{ni}, precipitación no interceptada en mm.

P_t, cantidad de agua que alcanza el terreno, bajando por los tallos y el bronco, en mm.

4.11.- Infiltración

La Infiltración consiste en un proceso de paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra. Este concepto se correlaciona ante la percolación, que es el movimiento del agua dentro del suelo. Ambos fenómenos están relacionados, puesto que la infiltración no puede continuar libremente hasta que la Percolación haya removido el agua de las capas superiores del suelo (Loor, 2017).

La infiltración se basa cuando se produce un aguacero, el agua que no es captada suele llegar al suelo. A partir de ese instante ocurren tres fenómenos diferentes:

- El primero; es la acumulación de agua en forma de Detención Superficial, así mismo va depender de la permanencia del agua en la superficie del terreno y de las características hidrodinámicas del mismo, por ello se opera el mecanismo de infiltración (Úbeda R. et al., 2018).

- El agua en un terreno no es capaz de filtrar, ni retener, solo escurre formando la Escorrentía Superficial Directa, lo que se llama la analogía existente entre los procesos que ocurren en la superficie del suelo y el de un recipiente con agujeros, rebosando el agua por los laterales. Los agujeros en la parte inferior representan a las propiedades hidrodinámicas del terreno como es la permeabilidad y porosidad que son las que definen la tasa de infiltración en el mismo (Úbeda R. et al., 2018).
- El agua que rebasa funge una escorrentía superficial generada y el agua almacenada inmediatamente en el recipiente representa la detención Superficial (Úbeda R. et al., 2018).

La permeabilidad del suelo es efectuada por medio de canales no capilares, por medio de los cuales drena el agua de gravedad desde la superficie hasta el nivel freático del agua subterránea, siguiendo el camino de menor resistencia (Salvador L. et al., 2020). El agua va saturando los espacios capilares por lo que el gradiente de humedad establecido inicialmente, va disminuyendo por lo tanto también la cantidad de agua infiltrada por unidad de tiempo (Shao y Baumgartl, 2014).

Inicialmente el suelo se encuentra en condiciones de una saturación , y por tanto con un gradiente de humedad menor , que si inicialmente se encuentra completamente seco . En consecuencia, se favorecerá la formación de escorrentía superficial al disminuir la masa de agua susceptible de infiltrarse (Salvador L. et al., 2020).

La infiltración está vinculada con el movimiento del agua en la parte edáfica del suelo donde se encuentra el desarrollo radicular de las plantas . La percolación está más relacionada con el movimiento vertical del agua en la zona no saturada (ShaoyBaumgartl, 2014).

4.12.- Evapotranspiración

La evapotranspiración (ET) se conoce a la combinación de dos procesos que son los siguientes:

1. La Evaporación a partir del suelo y desde la superficie es cubierta por las plantas.
2. La Transpiración desde las hojas de las plantas.

El cálculo de la ET se utiliza para conocer el agua que necesitan las plantas para su proceso de desarrollo, ya sea de diferentes lugares. Como resultado de esto, para poder diseñar todo lo relacionado con el riego, programación de riegos, cantidades de agua conduciendo a un determinado cultivo, diseño y elección del mejor sistema de riego, entre otros, es necesario calcular de la manera más concisa y precisa posible (Contreras C. V., 2019).

Para el cálculo de la ET se necesita condicionantes que son las siguientes:

1. El agua es el principal factor que está siempre presente.
2. La fuente de energía que convierte el agua líquida en vapor de agua.
3. Debe existir un fenómeno físico que separa el vapor de agua de la superficie de evaporación.

Las plantas se desarrollan a través del agua y otros nutrientes que toman del suelo por medio de las raíces, el dióxido de carbono (CO₂) lo obtienen a través del aire con la ayuda de las hojas, y su fuente de energía principal es la luz del Sol. Las dos fuentes primordiales del agua son la lluvia y el riego.

El CO₂ se obtiene por medio de la atmósfera, las plantas abren sus estomas, poros microscópicos en la superficie de las hojas. Durante este proceso las plantas pierden agua hacia la atmósfera (transpiración). Una vez que están disponibles para las plantas el agua y el CO₂, en las hojas se produce la fotosíntesis mediante la cual las plantas sintetizan glucosa (su alimento) a partir de agua, CO₂ y luz solar (Fbustosyc.cl, 2017).

El agua líquida que se evapora desde la superficie foliar y desde la superficie del suelo requiere energía, alrededor de 540 calorías por gramo de agua a 100 °C. Esta energía proviene de la luz del Sol en forma de energía solar (Paneles Solares: Generadores de Energía Eléctrica, n.d.).

El vapor de agua se produce en la superficie cuando hay una conexión entre el agua y aire produciendo un gradiente de presión de vapor enorme alrededor de dicha superficie. La dispersión del vapor de agua en la atmósfera se debe a dicho gradiente, y como también a la influencia del viento u otros mecanismos. La evapotranspiración es continua siempre y cuando se mantienen las tres condiciones antes comentadas(Contreras C. V., 2019).

4.13.- El sistema hidrológico cuenca

El ciclo hidrológico se constituye como un sistema que está conformado de elementos que son la precipitación, evaporación, escorrentía e infiltración entre otras fases del ciclo hidrológico, los cuales pueden agruparse en subsistemas del ciclo total. Este “sistema hidrológico” posee una estructura (o volumen) en el espacio, rodeada por una frontera, que acepta agua y otras entradas, opera en ellas internamente y produce salidas(Allen Bateman, 2007).

4.14.- Subcuenca y red hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es el espacio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conduce sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar (Visión Mundial., 2004). Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas (Faustino y Jiménez, 2000).

Una cuenca hidrográfica consiste en el estudio de un drenaje superficial que conlleva una red hidrográfica que delimita una cuenca, así mismo se identifica el cauce principal, posteriormente los afluentes secundarios y terciarios, para la delimitación e identificación de las subcuenca y microcuencas, como también la quebradas y tipos de escurrimientos (Juan Carlos M. C. *et al.*, 2023).

Un afluente es un conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante. Las cuencas, subcuencas y microcuencas se dividen en tres zonas, parte alta: se encuentra áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas. Parte media: se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido. Parte baja: esconde el río desemboca ya sea en ríos mayores o zonas bajas tales como estuarios y humedales (Ordoñez, 2011). Esta división por zonas no solo resulta útil en el análisis del comportamiento de los diferentes componentes del balance hídrico, sino que también apoya en la delimitación de las zonas funcionales de la cuenca, según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2003).

4.15.- Escurrimiento

La cuenca forma parte del ciclo hidrológico, es por ello que cualquier modificación que se presente en ella puede alterar la dinámica del ciclo. El escurrimiento es la parte de la precipitación que fluye sobre el terreno, o que va a partes subterráneas, y eventualmente, hacia mares u océanos (Bateman, 2007).

Es importante la medición del escurrimiento de agua, para conocer, identificar y cuantificar la cantidad del uso de agua para cualquier tipo de actividades.

Para la medición del escurrimiento se pueden emplear los aforos que consisten en una medición de volumen de agua en un tiempo determinado de un caudal que pasa por una sección del curso de agua. Lo ideal sería que los aforos se efectúen en las temporadas críticas de los meses de estiaje (los meses secos) y de lluvias, para conocer caudales mínimos y máximos (Castellón, 2014).

4.16.- Vegetación y uso de suelo

Las actividades humanas transforman cambios en el uso de suelo y vegetación un factor clave para los cambios de paisajes. Algunos de ellos son provocados por prácticas específicas de manejo y otros por las fuerzas sociales, políticas y económicas que controlan los usos de suelo (Medley et al, 1995).

Los cambios temporales en el paisaje inducidos por el hombre afectan tanto los procesos bióticos como los abióticos. Por ello, los cambios de coberturas de vegetación, desarrollan una erosión degradando los suelos, formando obras de construcción y sellando los suelos, a través de obras como carreteras, pavimentación entre otros, esto afecta y alteran las condiciones de la infiltración, percolación y evapotranspiración del agua. Además, dichos cambios modifican los parámetros ecológicos que determinan las variaciones naturales en las importaciones y exportaciones de sedimentos, nutrientes y compuestos químicos (Cotleret *al.*, 2010).

4.17.- Modelos de simulación hidrológica

La Hidrología consiste en los procesos que se relacionan entre los caudales o afluentes superficiales y subsuperficiales, así mismo las precipitaciones, existen métodos para la medición de cada uno de ellos, donde se toma elementos como son el tiempo, la infiltración, la percolación, el flujo subsuperficial, flujo subterráneo, entre otros. Estos elementos se miden de manera indirecta o remota, esto puede interpretarse que en el funcionamiento hidrológico posiblemente exista una incertidumbre.

Es importante mencionar que los modelos hidrológicos representan una necesidad y una herramienta esencial ante el manejo del funcionamiento del ciclo hidrológico y por ello el comportamiento de sus elementos, así como también son una herramienta esencial para el desarrollo de una gestión y planteamiento de una cuenca, subcuenca o microcuenca.

Los modelos hidrológicos consisten de una modelación de un área en específica de una cuenca, donde se basa en el entendimiento del tiempo y espacio, es importante mencionar que no existe un modelo perfecto existen variables que pueden contribuir a un resultado no aplicable, esas condiciones son muy específicas como la topografía, geología, el clima entre otros.

4.17.1.- El proceso de modelación;el proceso de simulación se desarrolla con principales variables que intervienen en los caudales, consiste en observar y analizar las características del subsuelo, suelo y clima. Los componentes que intervienen en la en una escorrentía son la evaporación, infiltración, evapotranspiración, flujo subterráneo, humedad de suelo entre otros.

Después se relacionan los componentes entre sí, asignando ecuaciones de un modelo conceptual. En este sentido es importante tomar en cuenta los coeficientes y parámetros de los cuales deben pasar por un proceso de calibración.

Para el proceso es importante y necesario implicar las ecuaciones diferenciales, que son fáciles de reconocer y procesarlas a través de un sistema.

La calibración consiste en asignar valores a cada uno de los parámetros del modelo, se debe realizar un ajuste en los datos registrados, es importante realizar este proceso, ya que se

tiene que utilizar las herramientas estadísticas, esto con base de poder minimizar la diferencia entre las variables simuladas, esto a través de optimización.

Los indicadores se deben analizar cuidadosamente porque son errores cuadráticos, este se toma como referencia del criterio de Schultz, el coeficiente de Nash-Sutcliffe y el balance de masas, entre otros. Como última parte se debe efectuar la validación, donde se lleva a cabo la predicción.

4.18.- Vulnerabilidad y riesgo de inundación

Como parte fundamental del análisis y comprensión de un fenómeno es fundamental establecer la situación teórica, es decir, los términos con que el escenario serán definidos y caracterizados. Parte de ello, es determinar como primer momento, el término de riesgo, para así llegar a una subdivisión a riesgo natural, el cual se asigna a aquellas características que presenta un asentamiento humano ante los diferentes escenarios catastróficos naturales o antrópicos (Perevochchikova y Lezama T., 2010).

Tocabens (2011) considera que el riesgo de una actividad puede tener dos componentes: la posibilidad o probabilidad de que, un resultado negativo ocurra. Por lo tanto, mientras mayor sea la probabilidad y la pérdida potencial, mayor será el riesgo.

El término de riesgo en el ámbito territorial, menciona Cardona (1993) es un desplazamiento de la expresión, categorizando como riesgo específico, el cual se enfoca al grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la Amenaza y la Vulnerabilidad. Es así como el riesgo y la probabilidad actúa en el territorio, sin importar las características físicas, está constituido por los fenómenos naturales o aquellos ocasionados por el hombre.

Las inundaciones son consideradas como el desastre más dañino y peligroso, se centra en un factor de riesgo. Actualmente, las inundaciones afectan desde pueblos marginados y sin infraestructura, hasta ciudades con edificaciones planeadas y arquitectónicas o con grandes avances tecnológicos (Hernández-Uribe et al., 2015). Por lo tanto, las acciones del desarrollo urbano y los cambios de uso de suelo, se vuelven zonas vulnerables propensas a inundarse. Las inundaciones se han vuelto un paradigma a nivel mundial por las malas decisiones, la falta de planeación inadecuada y problemas sociales.

V.- ANTECEDENTES

En los años de 1984 y 1988 se registraron fuertes lluvias tormentosas en los afluentes San Agustín y 24 de Junio, presentaron daños a 77 casas y dejando a 320 personas damnificadas. Así mismo la afectación del suelo y subsuelo; dando como resultado, un gran impacto de erosión, y una elevada carga de sedimentos (Gobierno del Estado, 2004).

Los Arroyos Santa Ana, 24 de Junio y Potinaspak en el año 1996; presentaron una precipitación máxima de 187.8 mm, con una máxima avenida hasta 2.5 metros que afectó a 300 comercios y 1500 casas habitación de 16 colonias (Gobierno del Estado, 2004).

En el año 1998 el Arroyo de Potinaspak y 24 de Junio provocaron desbordamiento en 60 colonias por lluvias torrenciales entre 75 y 80 mm, desarrollando fuertes avenidas máximas con niveles de 1.20 m, ocasionando daños críticos como arrastres de carros, árboles, así mismo la muerte de personas (Secretaría de Gobernación/Cenapred, 2001).

Los remanentes del Sistema Tropical “Larry” en el año 2003, causaron fuertes precipitaciones máximas de 131.0 mm, en los afluentes de la cuenca del Río Sabinal, dando como resultados catastróficos de desbordamientos, afectando 28 colonias, 39,00 habitantes y 49,720 viviendas. El suelo sufrió una intensa erosión debido a la carga extraordinaria de sólidos que afectó la vegetación endémica (Sedesol, 2004).

Protección Civil Chiapas (2018) informa que la ciudad de Tuxtla Gutiérrez se desarrollan afectaciones hidrometeorológicas de alto impacto, ocasionado que la ciudadanía se encuentre en un estado de vulnerabilidad en Tuxtla Gutiérrez, se han emitido declaratorias de emergencia y desastre en los años de 1999 al 2017. Las lluvias en Tuxtla Gutiérrez se registraron entre 83 y 141 mm provocando daños de alto impacto e incluso muertes asociadas al agua de escorrentía y no a los desbordamientos del río.

Con el paso del tiempo la población crece y se desarrolla desordenadamente, formando una mancha urbana, que presenta una alteración y fragmentación en el ecosistema, dejando los suelos totalmente en construcción y formando el aumento de la impermeabilización del suelo (Finotti, et al., 2014).

La urbanización ha establecido cambios en los ciclos naturales de las cuencas, subcuencas y microcuencas hidrológicas, dando un resultado no favorable ante el uso de suelo y vegetación (Rey-Valencia y Zambrano, 2018).

INEGI (2017), registra datos estadísticos de la cuenca del Río Sabinas, donde muestra que la cobertura vegetal se encuentra en un estado crítico generando suelos desnudos ante el desarrollo de infraestructura.

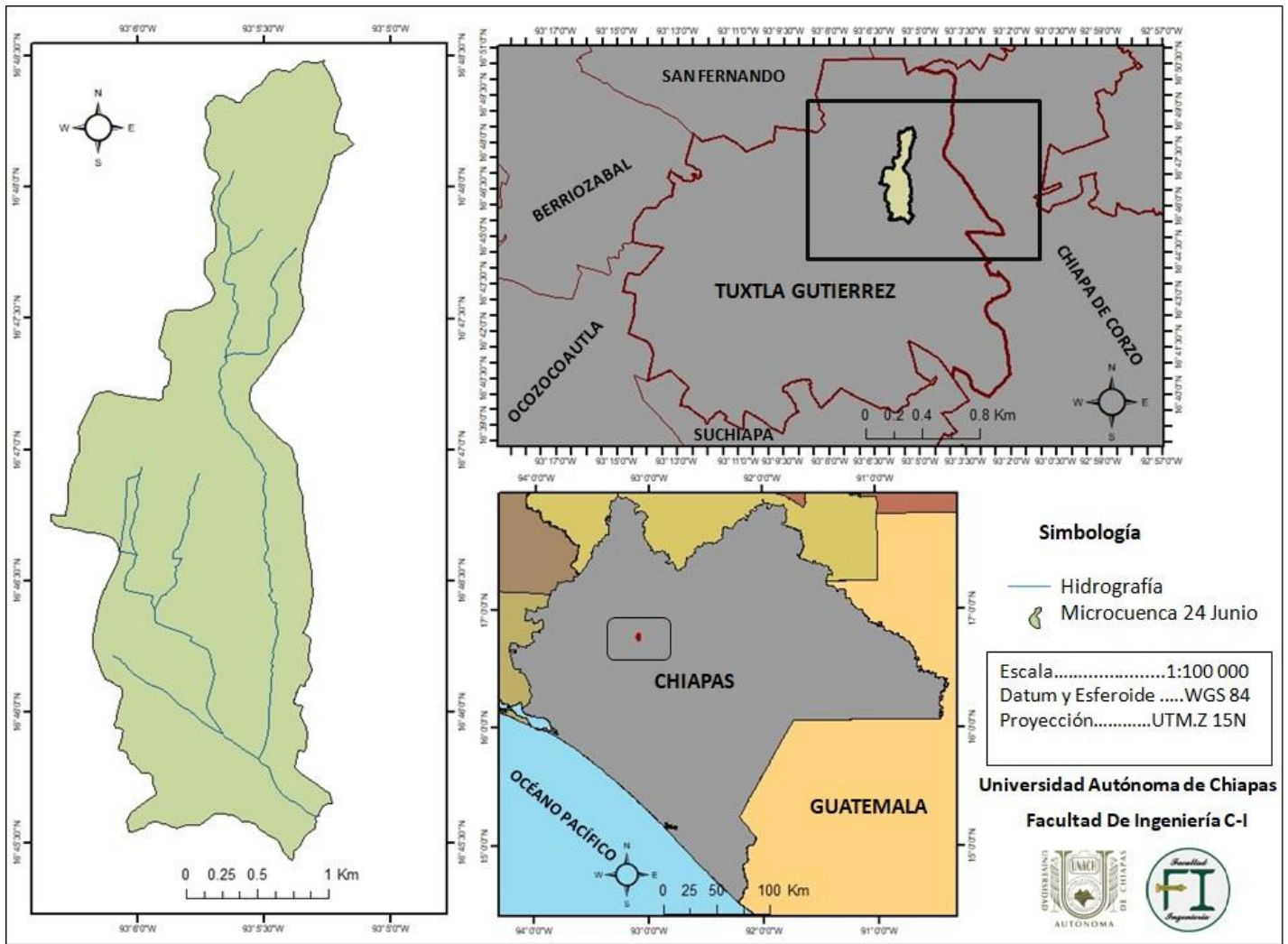
Los fenómenos naturales en sí no implican a los desastres, sino que las sociedades convierten a los eventos de origen natural en peligros y estos resultan en un riesgo y posteriormente en desastres al ser combinados con la vulnerabilidad de las poblaciones (Aragón-Durand, 2014).

VI.- ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca 24 de Junio se localiza en el Estado de Chiapas en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, México, entre las coordenadas $16^{\circ} 48'23.37''$ y $93^{\circ} 5'19.94''$ latitud norte, $16^{\circ}45'30.74''$ y $93^{\circ}5'26.48''$ longitud oeste. Está catalogada como microcuenca Hidrográfica Urbana 4-24 de Junio, de la subcuenca del Río Sabinal. Presenta un clima cálido subhúmedo, tomando como referencial los datos cartográficos de INEGI (Figura 5). La microcuenca es uno de los principales afluentes que desembocan en la subcuenca del río Sabinal.

Figura 5.

Ubicación de la microcuenca del Río 24 Junio.

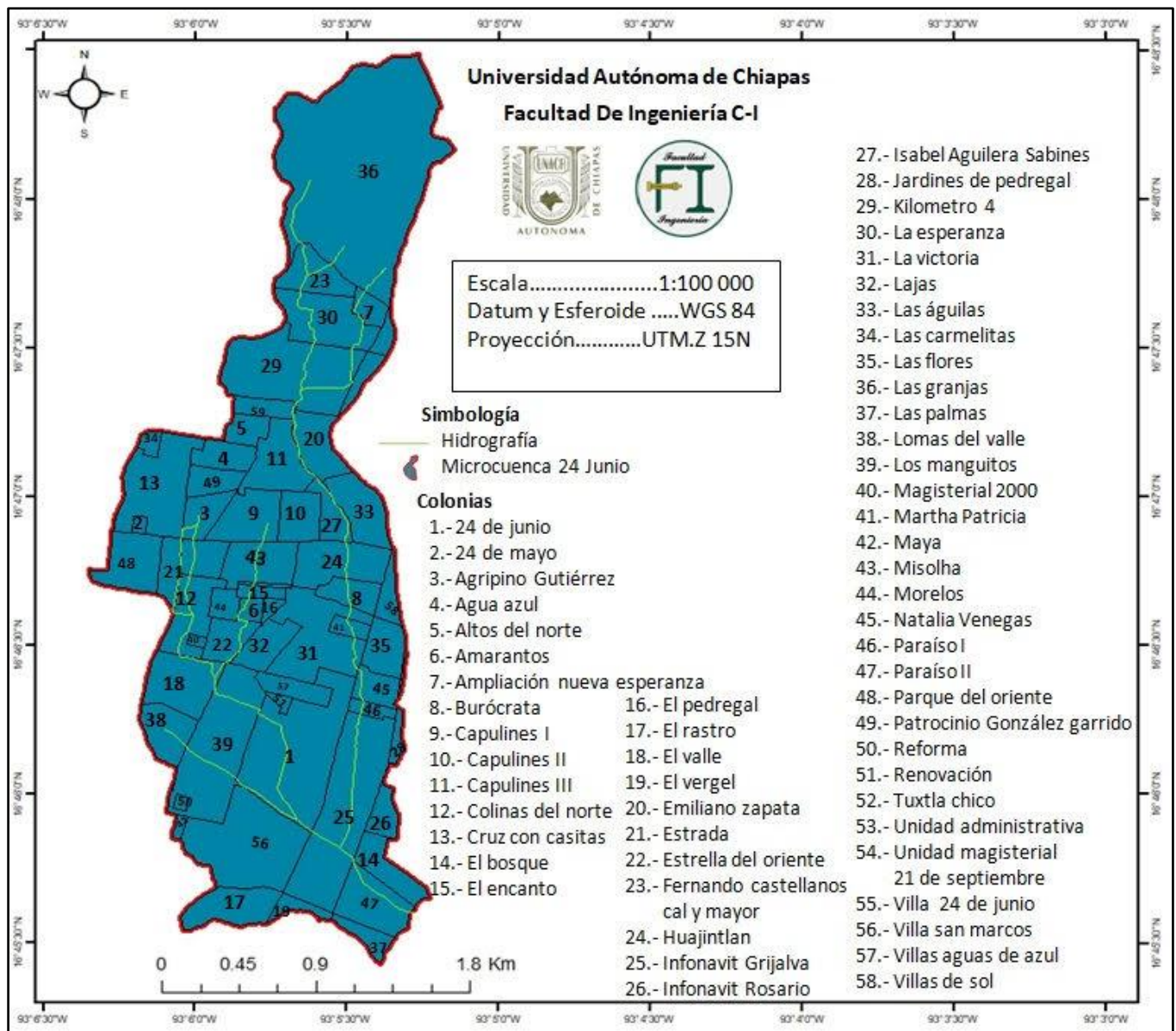


Recuperado: Elaboración propia aplicando el programa Arcgis.10.8.2 con datos de INEGI 2018.

De acuerdo con el Instituto Ciudadano de Planeación Municipal de Tuxtla Gutiérrez(ICIPLAM, 2020), en esta microcuencase encuentran 58 colonias (Figura 6), se observa un desarrollo urbano bastante complejo, con construcción de vialidades, edificios y viviendas, que han alterado la circulación y las condiciones naturales de la red hidrográfica, por ello se definió la red hidrográfica con sus Afluentes Urbanos.

Figura 6.

Distribución de colonias situadas en la Microcuenca 24 de Junio.



Fuente: Elaboración propia aplicando el programa Arcgis.10.8.2 con datos de INEGI 2018.

El terreno de la microcuenca está constituido por una topografía accidentada, formando cañadas y pendientes pronunciadas. Encuanto las características de suelo, este resulta ser delgado, escaso y pedregoso debido a lo accidentado del relieve y alo pronunciado de las pendientes.

La delimitación de la microcuenca 24 de junio se determina, que al Norte se localiza la parte más alta de la microcuenca, donde se encuentra un área natural de bosque y pastizales, la cual ha quedado como remanente de la urbanización, la tala y la construcción de carreteras. El agua de lluvia en esta zona escurre en mayor cantidad respecto al agua que se filtra, es por ello que se ha denominado Zona Hidrográfica Natural (ZHN), que en este caso tiene un área de 496612.80m² y un perímetro de 3.78km (IC IPLAM,2020).

Al occidente la microcuenca está delimitada por la calzada al sumidero , 3ra Avenida Sur Oriente, que funge como su parteaguas. Esta vialidad tiene una dirección de norte a sur al igual que su pendiente, hasta interceptar con el Libramiento Norte. El límite oriental coincide en algunas zonas con el análisis de pendientes que ya se tenía , obteniendo solo algunas modificaciones que extienden el área de estudio(IC IPLAM, 2020).

El límite sur de la MHU 4 se localiza a 200m pasando el Libramiento Norte. El área total de la Zona Hidrográfica Urbana 4 estimada es de 4636448.40m² con un perímetro de 11.97km(IC IPLAM, 2020).

Figura 7.- Fotografía de las 3 zonas; alta, media y baja de la microcuenca 24 de Junio.



Fuente: IC IPLAM, 2020.

VII.- METODOLOGÍA

Se realizó la delimitación de la zona de estudio con una red o corrientes superficiales por medio de imágenes satelitales, visualizando el curso del agua principal y los tributarios que desembocan en el caudal utilizando como fuente las imágenes de satélite de alta resolución que se encuentran en el Google Earth. Se emplearon curvas de nivel de 50 metros con el programa Qgis2.18 aplicando la herramienta Contour, generando un ráster, obteniendo las isolíneas dando la ubicación del archivo vectorial de curvas de nivel de 50 metros.

7.1.- Base de datos de precipitación

Los datos se obtuvieron de registros anuales y mensuales de la precipitación de las estaciones climatológicas que se encuentran en la microcuenca 24 de junio que son: El Sabinal-CONAGUA-DGE, Tuxtla Gutiérrez-CFE, Tuxtla Gutiérrez-DGE. Se realizó un comparativo de todos los datos para verificar los años, hubo años que se encontraron datos faltantes, mismos que se calcularon utilizando el método de análisis de regresión lineal. (Orellana L., 2008).

Modelo de regresión lineal: $y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$

β_0 y β_1 son los parámetros del modelo. ε es una variable aleatoria, llamada error, que explica la variabilidad en y que no se puede explicar con la relación lineal entre x y y . Los errores, ε , se consideran variables aleatorias independientes distribuidas normalmente con media cero y desviación estándar σ . Esto implica que el valor medio o valor esperado de y , denotado por $E(Y/x)$, es igual a $\beta_0 + \beta_1 x$.

Precipitación media anual mensual (P_m): es la lámina que en promedio cae al mes en la estación, se estima con la relación:

$$P_m = \frac{1}{n} \sum_{y=1}^n P_{mi}$$

Precipitación media anual (P_a): es la lámina total que en promedio cae al año en la estación
y está dado por:

$$Pa_n^1 \sum_{i=1}^n Pa$$

7.2.- Simulación hidrológica

La simulación de hidrológica se realizó el modelo digital de elevaciones, se utilizó el programa abierto Qgis 3.10, donde se ejecuta el programa y se encarga los archivos raster con elevaciones. Se desarrolló un procedimiento considerando el comando “Cortar raster por capa de máscara” que se encuentra en la barra de herramientas en Raster>Extracción, donde se selecciona los objetos a cortar generando el archivo transformando un formato (bill) compatible con el programa Telemac 2D, se exporta el archivo generado y asignamos “Guardar como”, se selecciona el formato ESRI. hdrLabelled (Figura 8).

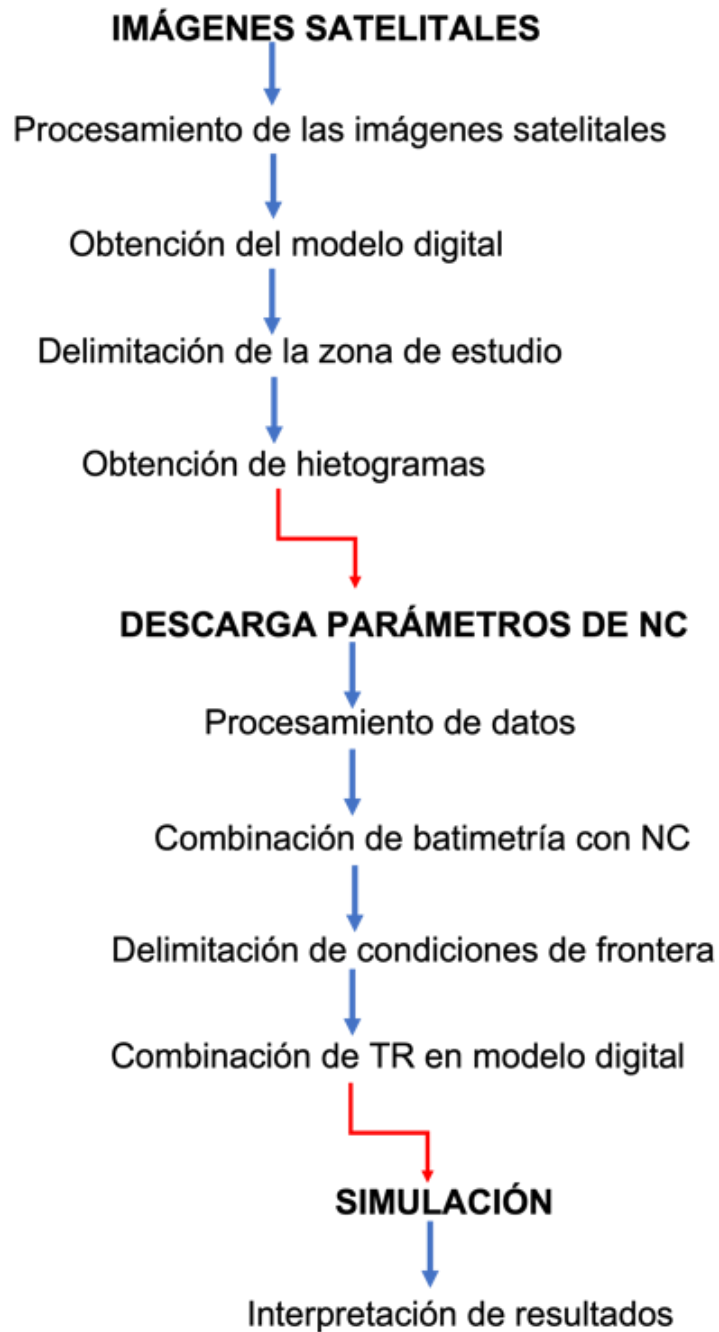
7.3.- Número de curva

Se realizó la extracción del número de curva, se cargaron los archivos en QGis, y a su vez se realizó se recorte de la sección de la microcuenca 24 de junio. Posteriormente se utiliza la herramienta “Cortar” en la sección Vectorial > Herramientas de Geoproceso. Con el archivo generado se insertaron puntos dentro de la sección para crear un archivo de puntos. xyz en Notepad++, utilizando la herramienta “Puntos aleatorios en los límites de la capa”.

Después de utilizo la tabla de atributos de los puntos generados y se copiaron para pegarlos en una hoja de Excel y asignando el Numero de Curva correspondiente. Al utilizar este procedimiento en todos los polígonos, se copiaron los datos de la tabla de Excel y se pegaron en Notepad++ generando un archivo con extensión xyz.

Figura 8.

Esquema del proceso de simulación



Recuperado: Elaboración propia, 2023.

7.4.- Modelo Hidrológico en Blukenue 64

Para el modelo hidrológico se utilizó el programa bluekenue, dentro de este programa se importó el MDE generado anteriormente, utilizando file-import-binary-raster. Después se importó el shapefile de la microcuenca 24 junio, ejecutando file-import-arcview-shape file. Se importó el archivo XYZ que contiene los datos del Número de Curva de la cuenca, con la herramienta file-open.

Después de importar los archivos se asignó el coeficiente de rugosidad de Manning, para ello se dibujó los polígonos, con la herramienta “New Closed line”. Se dibujaron dos polígonos para las dos rugosidades de la microcuenca y un polígono extra para la densidad del tamaño de la malla, el polígono de la malla se realizó para hacer una discretización en zonas donde deseamos mejores resultados, esto se llevó a cabo para no sobrecargar el procesador de la computadora.

Así mismo se realizaron los polígonos generando la malla, con la herramienta File > New > T3 MeshGenerator. En la ventana Workspace se arrastró el shapefile que se ubica en “Data Items” utilizando “Outline” y el polígono de Densidad, generando un “SelafinObject” que contiene información topográfica, de infiltración y rugosidad de la microcuenca, Se interceptó la malla que se generó en “New Mesh” hacia el objeto Selafin, se renombró para tener Bottom, BottomFriccion y CN. Por tal motivo se asignó los valores a los objetos Selafin, en Bottom, son los valores de la topografía, Bottom-Fricción valores de la rugosidad y en CN los de infiltración o número de curva, para ello se ejecutó con las herramientas Tools-Map-Object, seleccionado el objeto Selafin a interpolar. Para Bottom se utilizó MDE debido a que este archivo contiene la información de la topografía, En Bottom Fricción se interpoló ambos polígonos, primero el más grande y después el pequeño para no tener errores.

Para interpolación CN, se generó un archivo de infiltración con extensión XYZ, utilizando las herramientas File -New-2d-Interpolator, seleccionando CN en el Objeto Selafin , Para verificación de la interpolación fue correctamente se realizó un arrastre utilizando el objeto Selafin con el apoyo de la pestaña de Views y ColourScale seleccionando Reset y ShowLegend. Después de la verificación todos los objetos Selafin, se ejecuta Bottom para

dibujar la salida de la microcuenca, para ello se tomaron el valor mínimo de elevación y se le resto un metro, se realiza un polígono en la sección donde el agua desemboca.

Se interpolaron el polígono de salida y el objeto SelafinBottom, dando una asignación de la elevación, después se agregaron condiciones de limite, donde se realiza en la ventana File-New-Boundary-Conditions. Se guardo el proyecto con la herramienta File-SaveWorkspace, todos los archivos se guardaron a excepción del Bottom_Bc debido que se guardó manualmente en la figura con el disquete.

7.5.- Hietograma de diseño

Las lecturas del hietograma se tomaron de EMAS cercanas a la ubicación de lamicrocuenca 24 Junio, aplicando el método de Bell se realizó el hietograma de diseño . Tomando en cuenta la distribución de las precipitaciones producidas a lo largo 5 horas más lluviosas que se pueden producir en un punto con un periodo de retorno de 100 años, generando las curvas intensidad-duración frecuencia.

7.6.- Simulación del programaBlukenue

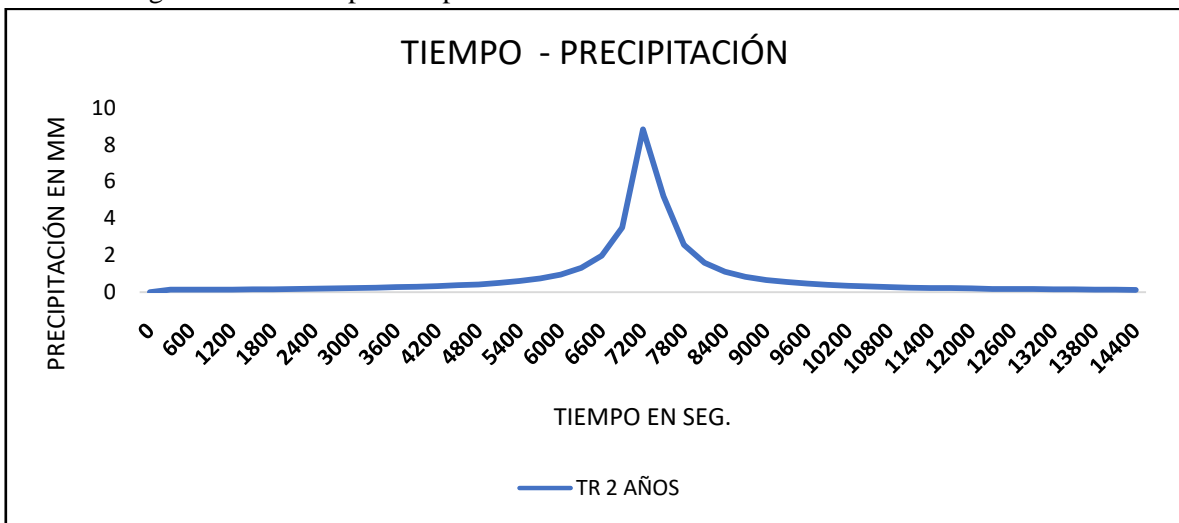
Se realizo la simulación tomando los archivos generados y guardamos anteriormente, se utilizó los archivos que contiene por defecto el programa Telemac 2D, que son “hietograma.txt”, “newSelafin.slf”, “Bottom_Bc.cli”, y los archivos del programa “t2d_pluie_cn_geo_hyetograph.cas” y la carpeta “user_fortran-cn_geo_hyetograph”, genenrando tres archivos y los otros dos se extraen del archivo de instalación de Telemac2D, se colocó la elevación mínima del flujo de agua, describiendo la elevación mínima del terreno (557.12), después se modificaron los archivos de simulación, condiciones límite con la extensión .cli, geometría con la extensión .slf y resultados. Se coloco el tiempo, en segundos en el que se realizó cada iteración, calculando y utilizando la fórmula para el numero de Courant, que permitió mantener a la simulación estable y convergente. Posteriormente se colocó el tiempo para cada calculo en el programa y el tiempo para los resultados finales, de manera visual.

VIII.- RESULTADOS

Utilizando los registros de las 3 estaciones climatológicas ubicadas en la microcuenca 24 de junio, se presentaron hietogramas de diseño a partir de curvas IDF donde fueron obtenidos para cada periodo de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, las precipitaciones se presentan en 4 horas, dando un inicio de 0 mm que desciende a 14400 mm, asimismo se visualizan una intensidad pico de 6600 a 8400 como se observa en las siguientes Figuras: 9, 10, 11, 12, 13 y 14.

Figura 9.

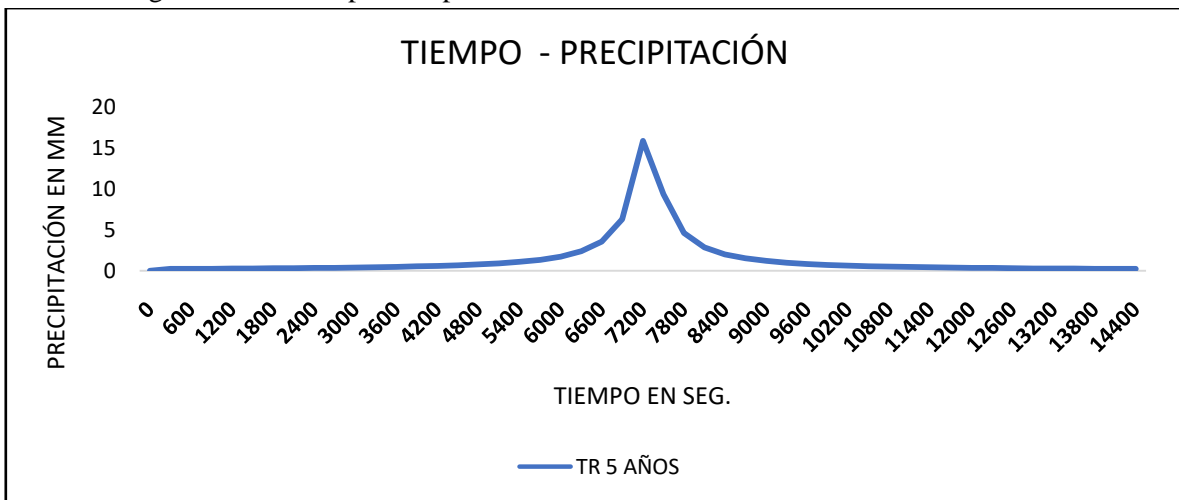
Hietograma de diseño para un periodo de retorno 2 añosde la microcuenca 24 de Junio.



Recuperado: Elaboración propia con datos de CONAGUA 2018.

Figura 10.

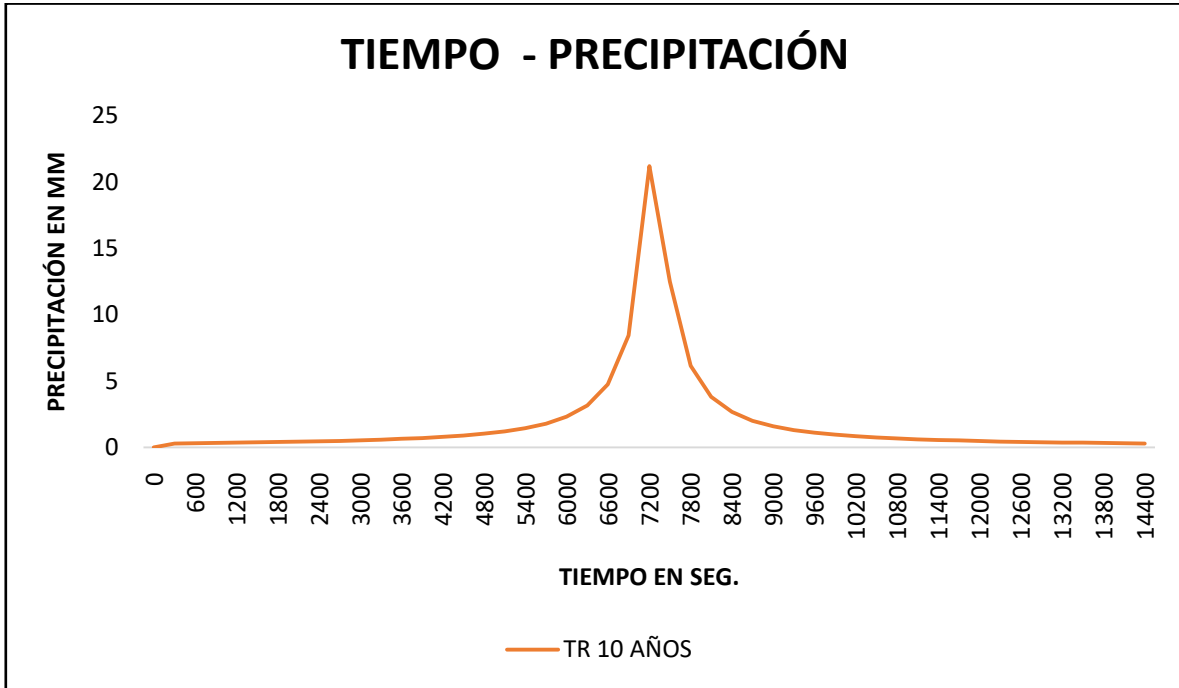
Hietograma de diseño para un periodo de retorno 5 añosde la microcuenca 24 de Junio.



Recuperado: Elaboración propia con datos de CONAGUA 2018.

Figura 11.

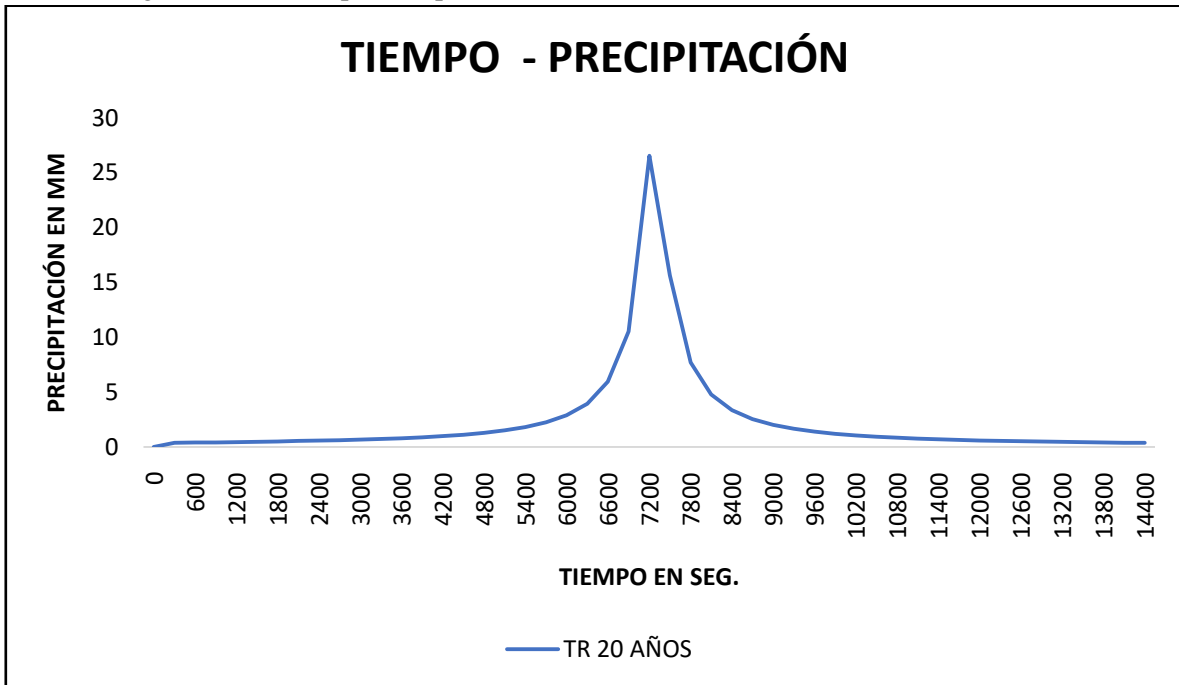
Hietograma de diseño para un periodo de retorno 10 años de la microcuenca 24 de Junio.



Recuperado: Elaboración propia con datos de CONAGUA 2018.

Figura 12.

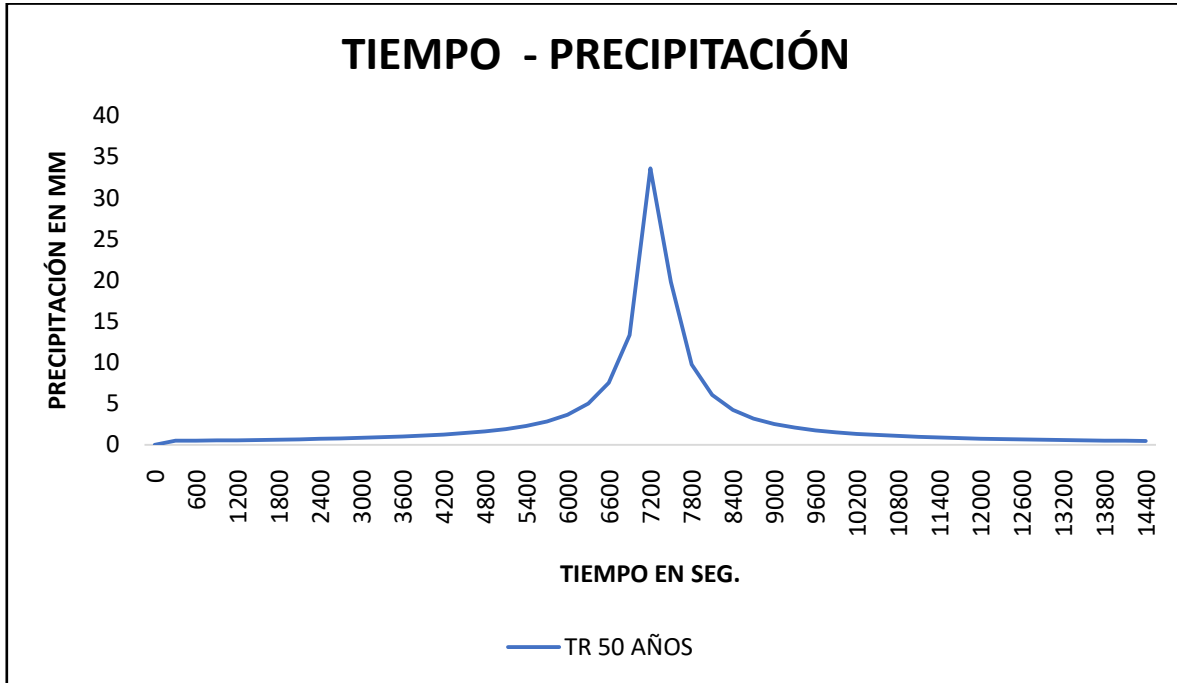
Hietograma de diseño para un periodo de retorno 20 años de la microcuenca 24 de Junio.



Recuperado: Elaboración propia con datos de CONAGUA 2018.

Figura 13.

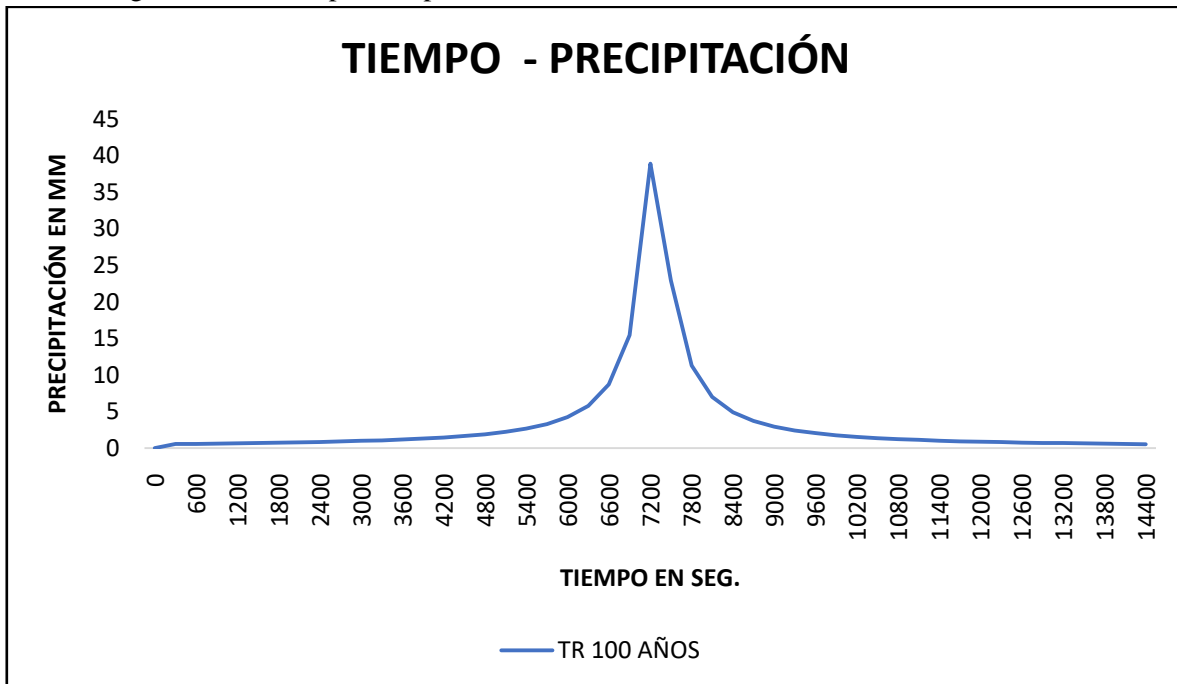
Hietograma de diseño para un periodo de retorno 50 añosde la microcuenca 24 de Junio.



Recuperado: Elaboración propia con datos de CONAGUA 2018.

Figura14.

Hietograma de diseño para un periodos de retorno 100 añosde la microcuenca 24 de Junio.

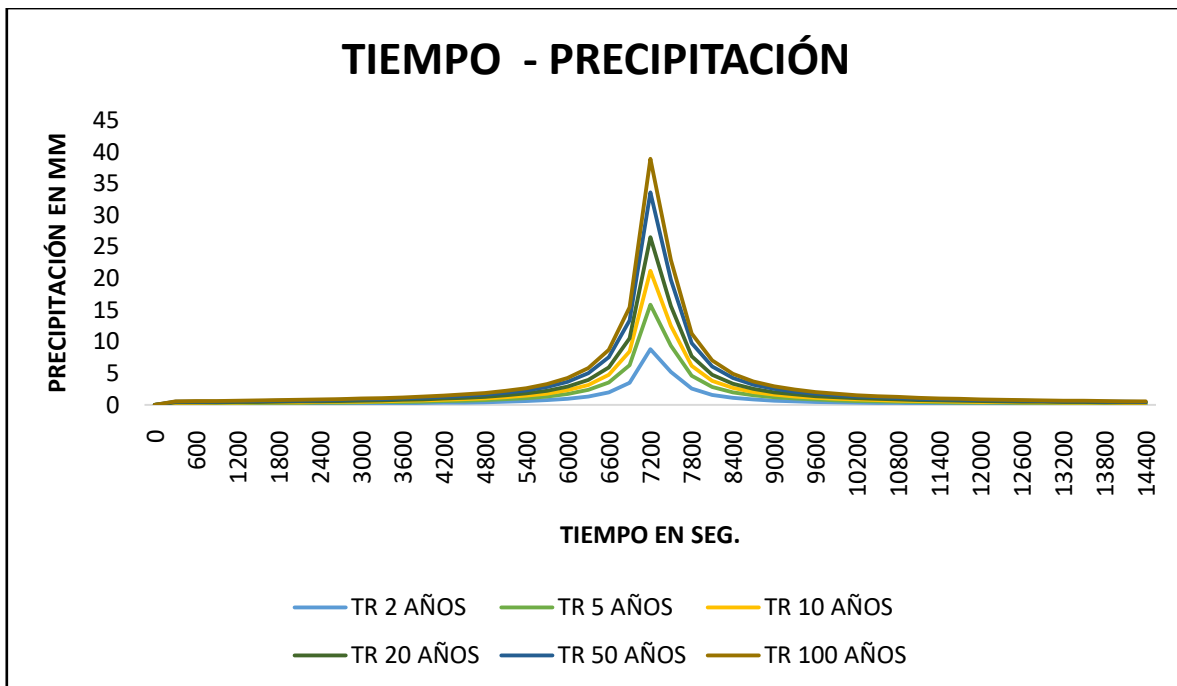


Recuperado: Elaboración propia con datos de CONAGUA 2018.

En la Figura 15, se observan los valores de duración y frecuencia en la ecuación de intensidad, se muestra que a medida que se incrementa la duración de la tormenta, la intensidad disminuye, y a medida que se incrementa el periodo de retorno crece el valor de las intensidades.

Figura15.

Hietograma de diseño para un periodos de retorno 2,5,10,20, 50 y 100 añosde la microcuena 24 de Junio.



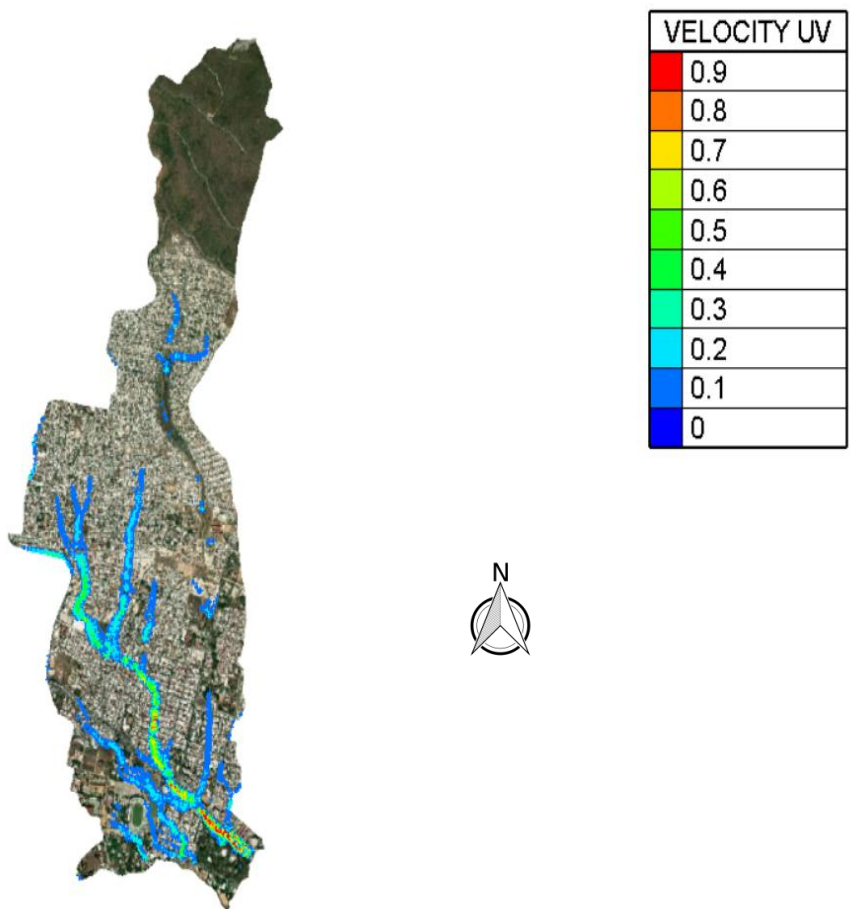
Recuperado: Elaboración propia con datos de CONAGUA 2018.

Con la obtención de los hietogramas de diseño de los diferentes periodos de retorno (2,5,10,20,50, 100), la cantidad de precipitación que se presenta en la microcuena 24 de junio es una subestimación en el caudal que impactara en el transcurso de los años.

Tiempo de retorno de 2 años

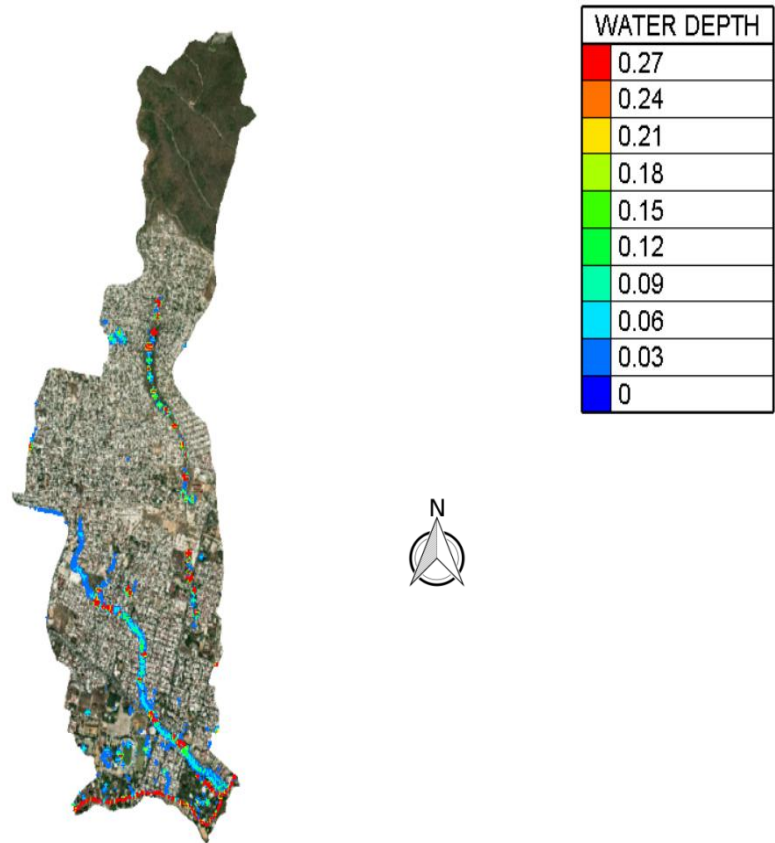
Los resultados de la microcuenca 24 de Junio, muestran que en el cauce en general no hay desbordamiento en todo el tramo, aunque sí escurrimientos que corren hacia él. El cauce no presenta una forma definida, a causa que se encuentra construido en toda la zona del cauce, por estas razones se presentan valores bajos en todo el tramo de velocidades entre 0.1m/s a 0.9m/s, además se puede apreciar que en todo el tramo del cauce los valores son muy bajos, determinado que no genera un problema de inundación (Figura 16 y 17).

Figura 16.
Velocidades máximas



Recuperado: Elaboración propia aplicando el programa Bluekenue 64 con datos de INEGI 2018.

Figura 17.
Tirantes máximos



Recuperado: Elaboración propia aplicando el programa Bluekenue 64 con datos de INEGI 2018.

Tiempo de retorno de 5 años

Se observa en los resultados de la modelación de la microcuenca 24 de junio del periodo de retorno de 5 años, se puede apreciar que el cauce del río se desborda aguas arriba y aguas abajo a causa al desnivel existente entre el fondo del cauce y la superficie del margen. Es importante apreciar que no existe una gran pérdida de energía cinética, las velocidades en todo el tramo varían de 0.6 m/s a 0.8 m/s, la velocidad en los márgenes y en el centro del cauce son de 0.9m/s y 0.8 m/s (Figura 18 y 19).

Figura18. Velocidades máximas

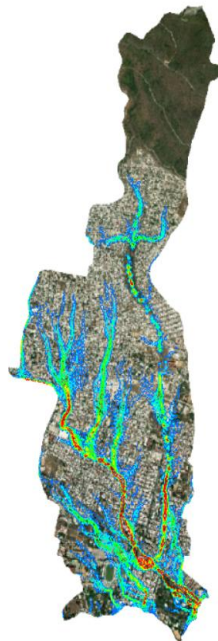


WATER DEPTH	
0.9	
0.8	
0.7	
0.6	
0.5	
0.4	
0.3	
0.2	
0.1	
0	

Recuperado: Elaboración propia aplicando el programa Bluekenue 64 con datos de INEGI 2018.

Figura19.

Tirantes máximos



VELOCITY UV	
0.9	
0.8	
0.7	
0.6	
0.5	
0.4	
0.3	
0.2	
0.1	
0	

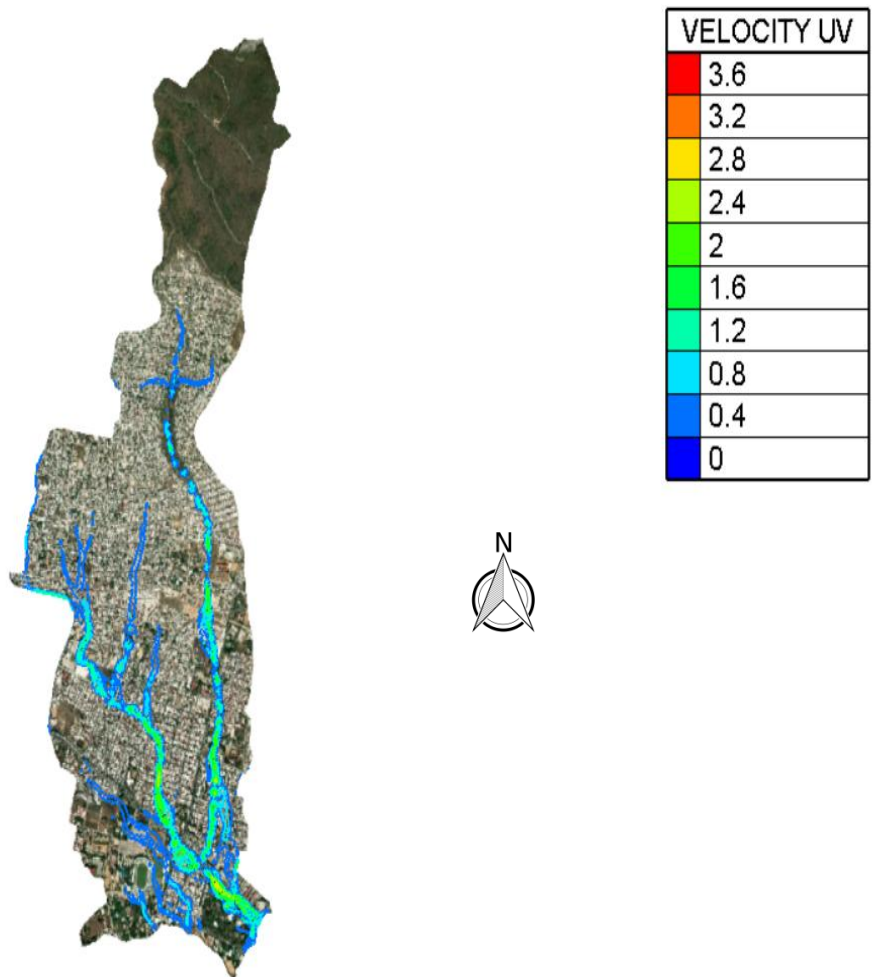
Recuperado: Elaboración propia aplicando el programa Bluekenue 64 con datos de INEGI 2018.

Tiempo de retorno de 10 años

La microcuenca 24 de Junio, presenta velocidades de 0.8m/s a 1.6m/s, en la parte alta, para la parte media es de 2m/s y de 2.8m/s respectivamente, así mismo en la parte baja se visualiza un 2.4m/s a 3.6m/s, para el tiempo de retorno de 10 años. Generando arrastres de sedimentos, que conlleva a una saturación de los suelos al no poder almacenar o infiltrarse. El tirante se observa una variación 0.5m a 0.9m, provocando un encharcamiento de agua en la zona media y baja de la microcuenca (Figura 20 y 21).

Figura20.

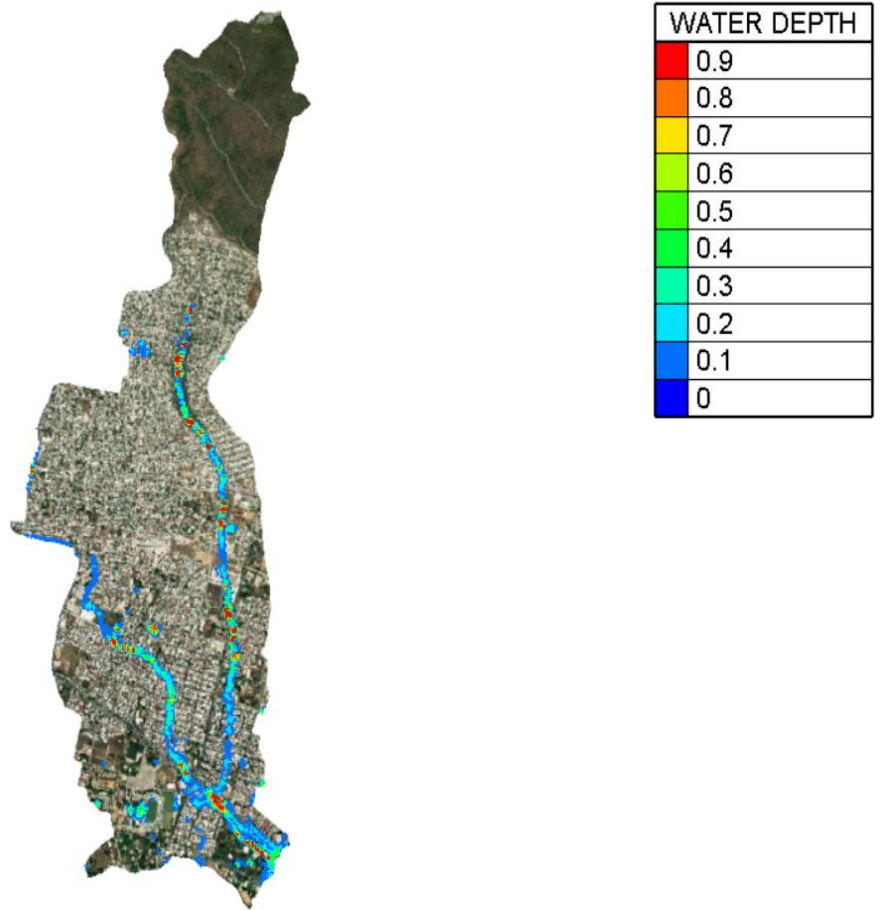
Velocidades máximas



Recuperado: Elaboración propia aplicando el programa Bluekenue 64 con datos de INEGI 2018.

Figura21.

Tirantes máximos

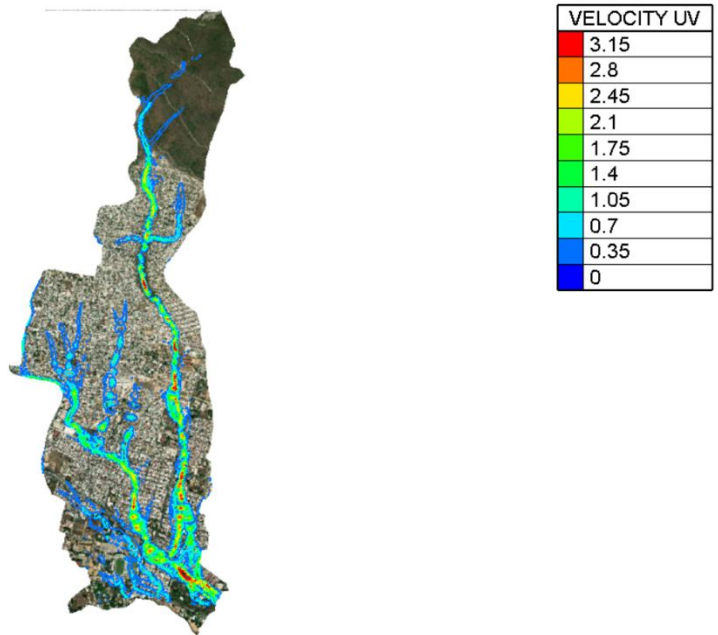


Recuperado: Elaboración propia aplicando el programa Bluekenue 64 con datos de INEGI 2018.

Tiempo de retorno de 20 años

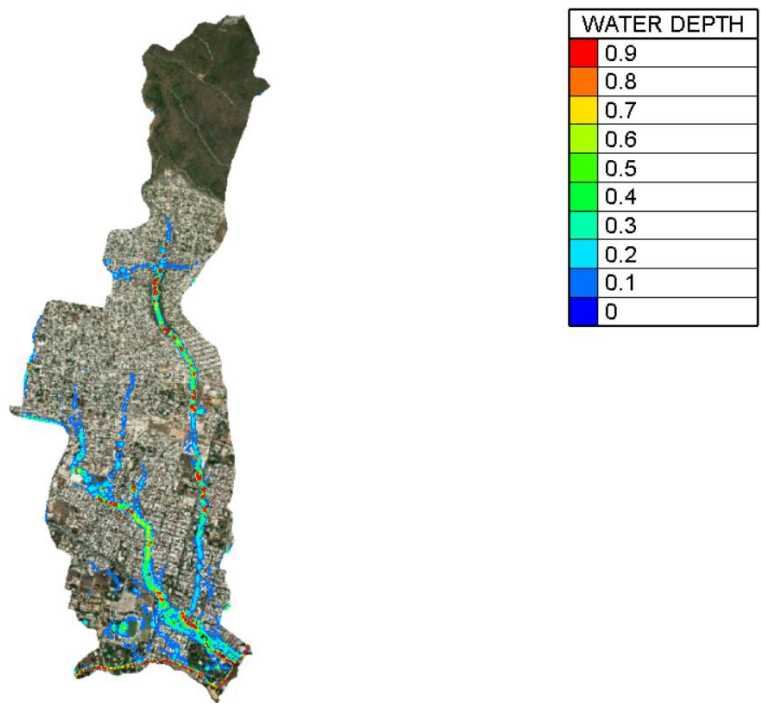
Para el periodo de retorno de 20 años en la microcuenca 24 de Junio, se puede apreciar que en todo el tramo del cauce las velocidades varían de 1.75 m/s, a 3.15 m/s, en el centro del cauce 2.1m/s a 2.45m/s,(Figura 22 y 23),posteriormente para el tirante 0,7 m a 0.9 m, lo que corresponde a que la velocidad aumenta, pone en riesgo las colonia que se encuentran en la zona, dando como resultado inundaciones y arrastres de magnitud severa, para la ciudadanía.

Figura22.
Velocidades máximas



Recuperado: Elaboración propia aplicando el programa Bluekenue 64 con datos de INEGI 2018.

Figura23.
Tirantes máximos



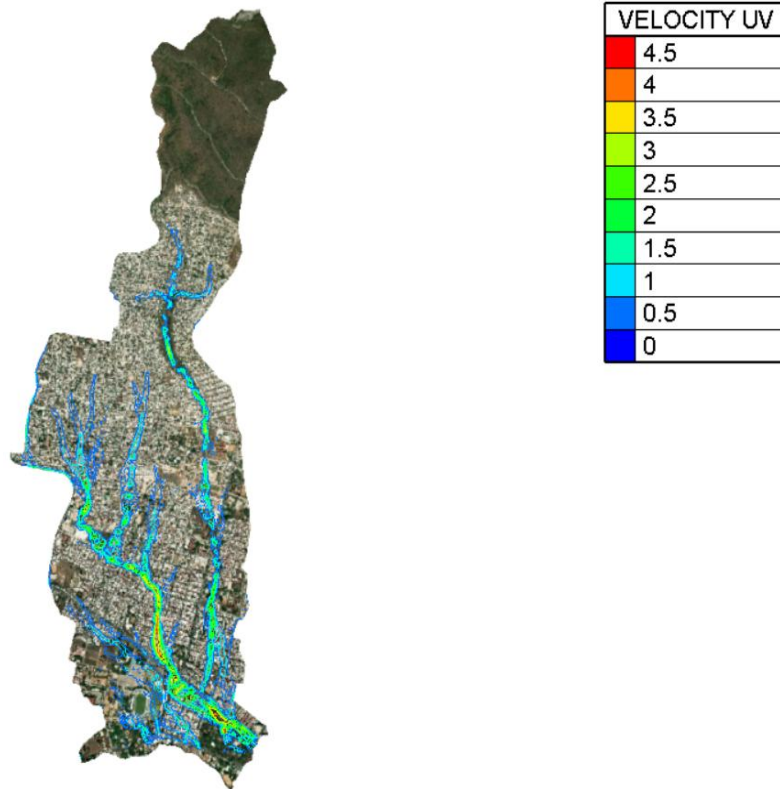
Recuperado: Elaboración propia aplicando el programa Bluekenue 64 con datos de INEGI 2018.

Tiempo de retorno de 50 años

En la (Figura 24 y 25) se observa un tiempo de retorno de 50 años, para la microcuenca 24 de Junio, en el cual las velocidades corresponde de 3.5 m/s a 4.5 m/s en la zona media, para la zona alta la velocidad es de 1.5 m/s a 3 m/s, en la parte baja es de 3 m/s a 4.5 m/s, el tirante varía entre 0.6m a 0.9m, dado como resultado diferentes zonas de peligro de inundación, junto a las condiciones de la red de drenaje natural y urbana que atraviesa la toda la zona urbana.

Figura24.

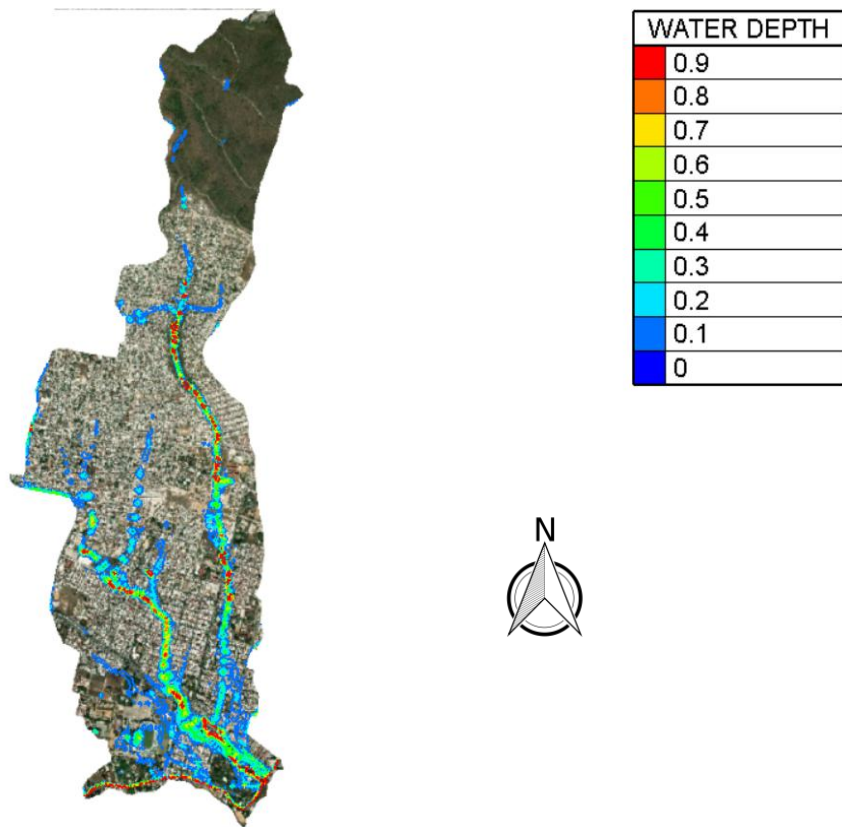
Velocidades máximas



Recuperado: Elaboración propia aplicando el programa Bluekenue 64 con datos de INEGI 2018.

Figura25.

Tirantes máximos



Recuperado: Elaboración propia aplicando el programa Bluekenue 64 con datos de INEGI 2018.

Tiempo de retorno de 100 años

La modelación realizada para un tiempo de retorno de 100 años presenta variaciones desde la parte alta, media y baja de la microcuenca, dando como resultado velocidades de 3.48m/s a 5.22 m/s, con tirantes de 0.9m a 1.35m, es importante mencionar que estas variaciones son extremas y críticas, coadyuvando fuertes arrastres de sedimentación con una velocidad extremadamente fuerte externado zonas en peligro de inundación, y en donde viven aproximadamente 1,213 habitantes en 304 viviendas, que se encuentran distribuidas en tres diferentes colonias que son; 24 de Junio, Grijalva Infonavit y El Bosque, así como también el flujo de agua de escorrentía por cada una de las calles, canales, cauces y embovedados, dentro del área de la microcuenca que aporta el agua a las zonas en riesgo de inundación (Figura 26 y 27).

Figura26.

Velocidades máximas



VELOCITY UV	
5.22	
4.64	
4.06	
3.48	
2.9	
2.32	
1.74	
1.16	
0.58	
0	

Recuperado: Elaboración propia aplicando el programa Bluekenue 64 con datos de INEGI 2018.

Figura27.

Tirantes máximos



WATER DEPTH	
1.35	
1.2	
1.05	
0.9	
0.75	
0.6	
0.45	
0.3	
0.15	
0	

Recuperado: Elaboración propia aplicando el programa Bluekenue 64 con datos de INEGI 2018.

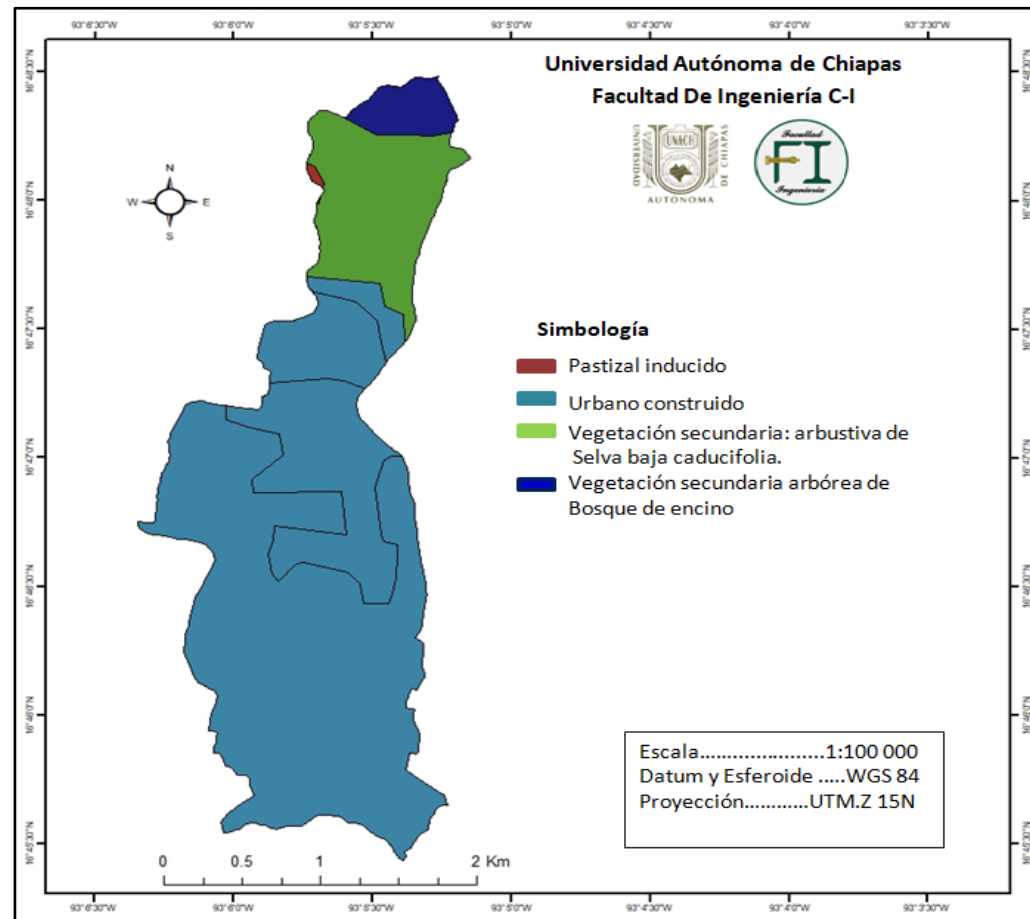
En el año 2017 la microcuenca 24 de Junio, se registró 2 usos de suelo y 2 tipos de vegetación (Figura 28). Las coberturas dominantes son las de uso antrópico y se localizan en la parte media y baja de la microcuenca, de las cuales corresponden a pastizal inducido, mientras los tipos de vegetación natural con vegetación secundaria arbórea de bosque encino y vegetación secundaria: arbustiva de selva baja caducifolia.

La distribución general del tipo de vegetación y uso de suelo en el año 2017, se ha manifestado de la siguiente manera; que la vegetación endémica está mayormente remitida a terrenos accidentados y de grandes pendientes, lo que ha permitido su conservación, ya que son terrenos sin acceso.

Retomando al uso de suelo el 85% corresponde a la zona urbana construido, el 1.5% pastizal inducido, así mismo para la vegetación; un 9% corresponde a la vegetación secundaria: arbustiva de selva baja caducifolia y el 4.5% a vegetación secundaria arbórea de bosque encino.

La microcuenca ha sufrido una alteración y modificación a causa de actividades antropogénicas, que provocan una ruptura del equilibrio ambiental, reflejado en fenómenos naturales, como inundaciones extremas. Es importante mencionar que la microcuenca presenta un 13.5% de vegetación endémica, lo que manifiesta una vegetación ribereña extremadamente escaso, generando una mínima circulación del flujo de agua como la evapotranspiración, infiltración y escurrimiento. Su presencia es importante porque estabilizan el suelo en las márgenes y orillas, aumentando la resistencia a la erosión y reteniendo el escurrimiento procedente de la microcuenca.

Figura 28.
Mapa de uso de suelo y vegetación de la microcuenca 24 de Junio.



Recuperado: Elaboración propia aplicando el programa Arcgis.10.8.2 con datos de INEGI 2017.

IX.- PROPUESTA

El Instituto de Ciudadano de Planeación Municipal en el año 2020, determina una propuesta de obras de mitigación, que permitirá la manipulación del flujo de agua de la microcuenca 24 de junio, así coadyuvar la disminución de la intensidad y la cantidad de la corriente de agua, que provoca inundaciones efectuando una zona de riesgo.

Siguiendo la propuesta mencionada determinan 3 Áreas de Recarga (AR), de escurrimiento superficiales, de los cuales son puntos de acumulación de agua provocando fuertes inundaciones.

Área de Recarga (AR 1)

En el área de Recarga 1, se localizaron en la calle Ricardo Flores Magón , se reflejaron graves afectaciones en toda su extensión hasta desembocar en el Libramiento Norte . Asi mismo la corriente fluye por el drenaje pluvial ubicado en esta zona, el cual inicia en el punto en el que el cauce del arroyo pasa directamente a la avenida Ricardo Flores Magón , en la esquina con la calle Vicente Cortés del fraccionamiento El Bosque . Siguiendo por la avenida y unos metros antes de llegar al Libramiento Norte, se localizan un conjunto de alcantarillas cuya capacidad de captación es de 26.62m³. No se conocen las dimensiones reales del drenaje pluvial por debajo de la avenida, pero calcularon un promedio de 7 739.09m³, que es insuficiente con respecto a la cantidad de volumen calculado.

En la tabla 1, se observa datos representativos del estudio realizado por ICIPLAM, dando volúmenes de agua que aporta en el área de recarga 1, por ello se detectaron puntos de vulnerabilidad, que se tienen que contemplar para la toma decisiones sobre obras de mitigación.

Tabla 1.
Volúmenes de agua que aporta el Área de Recarga 1

	Área –AR1	Precipitación	Volumen que se acumula
	(m2)	(mm)	(m3)
Mínima histórica 83mm	1,523,615.32	83	126,460.07
Máxima histórica 141mm	1,523,615.32	141	214,829.76
Estación PARQUE OTE.(3-sep-2016)	1,523,615.32	18.6	28,339.24
Estación PARQUE OTE.(23-junio-2017)	1,523,615.32	26	39,614.00
Estación SEC. TEC. 103 CRUZ CON CASITAS(23-junio-2017)	1,523,615.32	16.3	24,834.93
Estación SEC. TEC. 103 CRUZ CON CASITAS(04-Junio-2016)	1,523,615.32	23.6	35,957.32

Fuente: Obtenida Instituto de Ciudadano de Planeación Municipal (IC IPLAM), 2020.

Con base a los análisis obtenidos de IC IPLAM 2020, proponen obras de mitigación; como muros de retención de suelos y agua como son las costaleras, gaviones, o muros de roca acomodada, en el cauce principal, que permitirá un mejor manejo del flujo de agua efectuando la disminución de la intensidad y cantidad de la corriente agua en la Av. Ricardo Flores Magón, las obras de retención se realicen, dependerá de las dimensiones del cauce.

Mencionan 3 sitios estratégicos para implementar muros de retención de suelos y agua con las siguientes características:

1. Se ubicada en las coordenadas 489917.14,1855986.77 con acceso al finalizar la calle NiñosHéroes de la colonia Las Águilas.
2. Se localiza en las coordenadas 489953.52,1855865.51 con acceso al finalizar la calle José María Morelos de la colonia Las Águilas.
3. Se localiza en las coordenadas 490061.44,1855255.17 en la calle Circuito Nido de Águilas.

Figura 29.

Sitios estratégicos para la implementación de muros de retención de agua y suelo



Recuperado:Obtenida Instituto de Ciudadano de Planeación Municipal (ICIPLAM), 2020.

Los sitios estratégicos del punto 1 y 2, con un cálculo promedio de 20m de ancho de cauce mencionan ICIPLAM, 2020; que se podría controlar hasta 31 891.56m³, con las medidas máximas teniendo un volumen total por toda la zona de recarga. Cabe mencionar que, de igual forma, estableciendo las obras con la altura máxima de 1m se estaría disminuyendo 10630.52m³ de volumen de agua, que no llegarían a la zona de inundación o bien, retrasarían su recorrido ayudando a disminuir la intensidad de las corrientes. La propuesta el punto estratégico tres, para esta zona mencionan que hay una distancia de 212.36m entre el punto 2 y el punto 3, un ancho del cauce promedio de 7m. Si se coloca un muro de 1m de altura, se tendrá una capacidad de reducir agua que fluya de 1 486.52 m³, por lo que esta misma cantidad se reducirá en la corriente que llega a la calle Ricardo Flores Magón, o bien retrasar su recorrido para evitar la acumulación (Tabla 2).

Tabla 2.

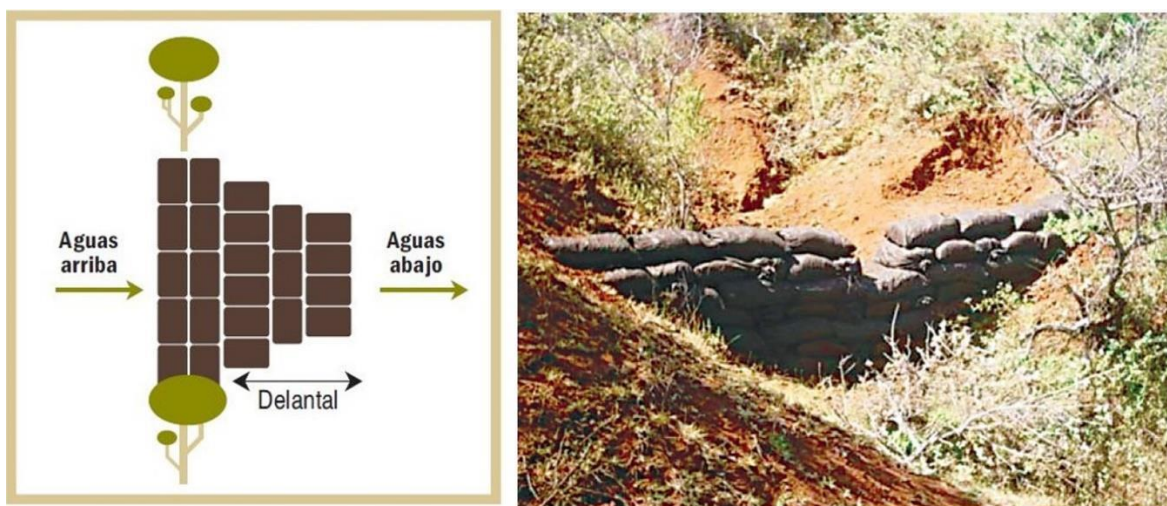
Capacidades de obras de retención

	Ancho promedio	Altura de muro	Longitud entre puntos	Capacidad de retención
Muro de Retención 1 489917.14, 1855986.77 (longitud inicio de zona de cauce a punto 1)	20m	1m	325.87m	6517.4m ³
		2m	325.87m	13034.8m ³
		3m	325.87m	19552.2m ³
Muro de Retención 2 489953.52,1855865.51	20m	1m	131.33m	2626.6m ³
		2m	131.33m	5253.2m ³
		3m	131.33m	7879.8m ³
Muro de Retención 3 490061.44,1855255.17	7m	1m	212.36m	1486.52m ³
		2m	212.36m	2973.04m ³
		3m	212.36m	4459.56m ³

Recuperado: Obtenida Instituto de Ciudadano de Planeación Municipal (IC IPLAM), 2020.

Figura 30.

Esquema de la colocación de muros de retención de agua y suelos.



Recuperado: Obtenida Instituto de Ciudadano de Planeación Municipal (IC IPLAM), 2020.

Área de Recarga (AR 2)

La segunda Área de Recarga detectada por ICIPLAM (2020) en la Microcuenca 24 Junio, se encuentra en la parte oeste de la misma, principalmente sobre la calzada al Sumidero (3 Avenida Sur Poniente). Esta avenida Calzada funge como el parteaguas y es por ello que gran parte de las corrientes descargan sus aguas sobre la calzada hasta llegar al Libramiento Norte. El agua que circula en esta área afecta principalmente al tránsito vehicular. El Área de Recarga 2 tiene un área de 633 057.42m² y tomando en cuenta los datos de precipitación histórica 83mm y 141mm y de las estaciones meteorológicas el Parque del Oriente y Secundaria Técnica 103 Cruz de Casitas (Tabla 3).

Tabla 3.
Volúmenes de agua que aporta el Área de Recarga 2

	Área -AR2 (m ²)	Precipitación (mm)	Volumen que se acumula (m ³)
Minima histórica 83mm	633,057.42	83	52,543.77
Máxima histórica 141mm	633,057.42	141	89,261.10
Estación PARQUE OTE.(3-sep-2016)	633,057.42	18.6	11,774.87
Estación PARQUE OTE.(23-junio-2017)	633,057.42	26	16,459.49
Estación SEC. TEC. 103 CRUZ CON CASITAS(23-junio-2017)	633,057.42	16.3	10,318.84
Estación SEC. TEC. 103 CRUZ CON CASITAS(04-Junio-2016)	633,057.42	23.6	14,940.16

Recuperado: Obtenida Instituto de Ciudadano de Planeación Municipal (IC IPLAM), 2020.

Para esta area de recarga 2, la propuesta consiste en la ubicación de topes (con costaleras) en las vialidades que unen sus corrientes a la calzada el sumidero, esto con el objetivo de frenar la intensidad de corriente que fluye por la misma hasta llegar a la zona más baja (Figura 31). Desafortunadamente las condiciones topográficas, construidas de esta zona de recarga, no nos permiten desviar las corrientes a puntos que eviten la acumulación de las corrientes en la zona de inundación, ya que únicamente estaríamos trasladando la zona de inundación a otro punto del libramiento, pues se encuentra en la zona más baja de la microcuena hidrográfica.

Figura 31.

Lugares estratégicos para los topes con costaleras.



Recuperado: Obtenida Instituto de Ciudadano de Planeación Municipal (ICIAM), 2020.

Área de Recarga 3 (AR 3)

El Área de Recarga 3, tiene un área aproximada de $1\ 810\ 292.78\text{m}^2$. Se efectuaron cálculos del volumen de agua que aporta en la zona metropolitana, este volumen de agua recorre el área de recarga por un canal a cielo abierto, que recorre el centro del área, y que funge como la escorrentía principal de la zona. Este canal inicia entre las calles Plutarco y Simojovel, sobre la avenida del Sacrificio y termina este canal en el drenaje pluvial ubicado en el Libramiento Norte a la altura de la calle Río Suchiate, de la colonia 24 de junio, tiene una longitud total de $1\ 278.64\text{m}$. La capacidad del canal; calculada en el lugar, con un promedio de las áreas hidráulicas, inicia con un ancho promedio de 9m y finaliza con una estructura en forma de trapecio; es de $9\ 821.91\text{m}^3$. La capacidad calculada no es suficiente, tomando una precipitación mínima histórica de 83mm , (Tabla 4).

Tabla 4.
Volúmenes de agua que aporta el Área de Recarga 3.

	Área –AR3	Precipitación	Volumen que se acumula (m3)
	(m2)	(mm)	
Mínima histórica 83mm	1,810,292.78	83	150,254.30
Máxima histórica 141mm	1,810,292.78	141	255,251.28
Estación PARQUE OTE.(3-sep-2016)	1,810,292.78	18.6	33,671.45
Estación PARQUE OTE.(23-junio-2017)	1,810,292.78	26	47,067.61
Estación SEC. TEC. 103 CRUZ CON CASITAS(23-junio-2017)	1,810,292.78	16.3	29,507.77
Estación SEC. TEC. 103 CRUZ CON CASITAS(04-Junio-2016)	1,810,292.78	23.6	42,722.91

Recuperado: Obtenida Instituto de Ciudadano de Planeación Municipal (IC IPLAM), 2020.

Figura 32.
Lugares de volúmenes de agua Área de Recarga 3



Recuperado: Obtenida Instituto de Ciudadano de Planeación Municipal (IC IPLAM), 2020.

Para el Área de Recarga 3, la estrategia de mitigación propuesta por ICIPLAM (2020), con respecto a las Áreas de Recarga 1 y 2. En esta zona se localizó un terreno baldío, que podría emplearse como posible zona de inundación inducida. Para que este predio realice la función propuesta, se debe de cumplir con ciertas características que deberán implementarse para delimitar el área de almacenamiento.

El área que va a descargar sus aguas en ese lote deberá de delimitarse por medio de topes en puntos estratégicos , estos topes van a bloquear el agua que fluye entre las calles y al mismo tiempo van a redireccionar el flujo hacia el lote baldío.

El objetivo principal es desviar las corrientes , para que el orden de estas sea menor y reducir de esta forma, la carga hidráulica que llega a la zona de inundación . Esta medida no puede ser usada en toda el área de la microcuenca , puesto que hay zonas donde las pendientes de las corrientes son muy pronunciadas y la redirección no podría llevarse a cabo con un tope de costales , además de que podríamos estar simplemente creando nuevas áreas de inundación en la parte más baja de la cuenca (Libramiento Norte).

Los puntos propuestos fueron analizados según los resultados obtenidos con los recorridos en campo y los datos topográficos del SIG.

X.-DISCUSIÓN

En el presente estudio, la modelación hidrológica presenta los riesgos que dominan la Hidrodinámica de la microcuenca 24 de Junio.

Es importante mencionar principalmente las corrientes de agua de cada viabilidad la ubicación que frenan o incrementa el volumen corriente de agua de agua corrientes y de las alcantarillas se encuentran en con totalmente pavimentadas lo que la infiltración del agua es muy escasa provocando inundaciones extremas.

En los años 1984 y 1988 el Gobierno del Estado registró daños a 77 casas dejando personas damnificadas a causa de fuertes precipitaciones provocando inundaciones, en diferentes colonias, conforme a los resultados de los hietogramas se demuestra que las fuertes precipitaciones y a la poca vegetación, más construcción siendo una zona totalmente urbanizada, generando una zona de riesgo, para las colonias que se establecen en la parte media y baja de la microcuenca.

La simulación realizada presentó un resultado no favorable derivado que los tiempos de retorno; la cantidad de tiempo para la probabilidad de ocurrencia se distribuyó uniformemente en los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50, 100 años, mostrando puntos de área de recarga, que son altamente de riesgo para la ciudadanía.

En cuanto al tiempo de retorno de 5 a 20 años se presenta una variación de velocidades y tirantes, que conlleva escurrimientos extremas en varias colonias, avenidas y calles de la parte media y baja de la microcuenca, Hernández-Uribe, Barrios-Piña y Ramírez (2015) mencionan que la urbanización ha transformado los ciclos naturales en las cuencas, subcuencas y microcuencas hidrológicas, así mismo los periodos de retorno muestra que las condiciones de la red de drenaje natural y urbana que atraviesa la zona urbana, es sin duda, una herramienta básica que podrá ser utilizada por las autoridades, para mitigar reconocer y localizar sitios estratégicos para la construcción de obras hidráulicas que permitan retener,

desviar el agua, para disminuir el volumen y la intensidad de agua que llega a las zonas en riesgo de inundación.

Respecto a los años de periodo 50 a 100 años, se visualizaron escurrimientos con una velocidad crítica donde se encontró puntos de control en diferentes; cruces de calles y cauces de tributarios, donde las colonias; 24 de Junio, Grijalva Infonavit y El Bosque son las zonas de mayor afectación, los registros de protección civil de Tuxtla Gutiérrez (Atlas, 2015; PDUCP, 2015) menciona que las zonas de inundación dentro de la microcuenca 24 de junio; se encuentran en la colonia 24 de Junio, donde afecta 138 viviendas en donde viven 425 personas, en un área de 15608.13 m², en la colonia El Bosque la zona en peligro de inundación abarca un área de 10574.08 m², afecta a 40 viviendas y 139 personas y en la colonia Grijalva Infonavit en donde hay dos zonas de inundación, la primera tiene un área de 1750.49 m², que afecta a 212 viviendas y 649 personas, mientras que la segunda abarca un área de 13510.58 m² y afecta al flujo vehicular en el libramiento norte.

Protección Civil Chiapas (2018) menciona que de los fenómenos naturales que provocan mayores afectaciones en el estado de Chiapas son los fenómenos hidrometeorológicos, seguido por los fenómenos geológicos. La ciudad de Tuxtla Gutiérrez, no ha sido la excepción, en los registros históricos de afectaciones por fuertes lluvias en la capital la ciudadanía ha sido afectada. Debido a precipitaciones torrenciales en Tuxtla Gutiérrez, se han emitido siete declaratorias de emergencia y desastre en 1999 al 2017. Las lluvias en Tuxtla Gutiérrez han presentado registros de 85 y 150 mm que han provocado diversos daños e incluso muertes asociadas a la velocidad de la escorrentía y no a los desbordamientos del río Sabinal. Sin embargo, el comportamiento de la microcuenca 24 junio ha aumentado con el paso del tiempo, como se observa en la simulación hidrológica, los daños serán catastróficos, implicando un peligro para la supervivencia.

La microcuenca 24 de junio presenta una variabilidad en cuanto a la cobertura de uso de suelos y vegetación en el 2017, sufriendo cambios a causas de actividades antropogénicas, como es el caso de la deforestación que ha terminado la vegetación endémica dando un resultado de 13.5% de vegetación. Rey-Valencia y Zambrano (2018) mencionan que la

urbanización ha cambiado significativamente los ciclos naturales en las cuencas hidrológicas con el constante cambio de uso del suelo, en el que existe un aumento del área impermeabilizada y una disminución o eliminación de la cobertura vegetal.

Es importante mencionar que la microcuenca se encuentra en terrenos accidentados y de pendientes pronunciadas, en ocasiones inaccesibles accesos en terrenos en la parte alta, esto ha permitido encontrar en conservación coberturas naturales de selvas y bosques.

INEGI (2017), registra por región de la cuenca del río Sabinal, la porción que sufrió la mayor pérdida de cobertura arbórea correspondió a la parte media, seguida de la porción alta y por último la baja. En este sentido, la microcuenca 24 de junio que es parte de cuenca del río Sabinal, el cambio de vegetación es crítica, tomando en cuenta a las tendencias actuales de deforestación y pérdida de cobertura arbórea.

A la falta de atención y asesoría técnica el grado afectación hacia la microcuenca ha detonado vulnerabilidad en el área, que coadyuva zonas en peligro de inundación. La simulación permite identificar y diferenciar diferentes áreas por donde fluye el agua y que llega a las zonas en riesgo de inundación, de las cuales son los cauces naturales y el agua que fluye la parte alta y media, donde las descargas de agua llegan a la zona baja, dando una concentración de agua, provocando las zonas en peligro de Inundación. La zona provoca la inundación y una vulnerabilidad física expuesta a personas y aproximándose 138 viviendas de la colonia 24 de Junio, y al mismo tiempo aporta agua que fluye por la colonia el Bosque, expuesta aproximante 40 viviendas, donde la vulnerabilidad es afecta a vehículos que circulan o se estacionan en la misma, o personas que caminan en esta vía que en la lateral de del libramiento norte.

En cuanto a los resultados, la microcuenca 24 de Junio debe realizarse acciones de corto plazo, es por ello que la propuesta del Instituto de Ciudadano de Planeación Municipal que presenta en el año 2020, es realizar obras de mitigación; en los tributarios que se conserva un área hidráulica, esto permitirá un buen manejo del flujo de agua del cauce principal 24 de junio, esto coadyuvando la disminución de la intensidad y la cantidad de las corrientes de agua ante los puntos de recargas donde se presentan las inundaciones frecuentes.

Realizar obras preventivas, recorridos de campo para verificar e identificar la circulación del flujo de agua (cauce), para disminuir el daño que provoca las inundaciones, es importante mencionar que, durante el tramo del cauce, se encuentra modificaciones asociadas a la construcción de viviendas y vialidades, lo que permitió un cambio al cauce original de la microcuenca 24 de Junio.

XI.- CONCLUSIÓN

De acuerdo con el análisis presentado, se identificó que la zona urbana en la microcuenca 24 de Junio incrementó 86.5 %. Hay más infraestructura, donde el agua fluye desde las partes más altas hasta las más bajas fuera de los cauces naturales, generando zonas de inundación. Una de las principales zonas de inundación se presenta en el libramiento norte; donde el agua cambia su dirección y se convierte en un efímero pero caudaloso río, ya que la mayor parte de descarga de agua se concentra en esa zona. Esta información se puede utilizar para la toma de decisiones como una herramienta base, para identificar los posibles puntos de desviación, retención o zonas de inundación inducidas, que disminuyan el volumen y la intensidad del flujo de agua que llega a esa área.

El estado de conservación de la microcuenca 24 de Junio se ha deteriorado. El crecimiento de la mancha urbana generó la pérdida y disminución de vegetación ribereña, lo que ha causado falta permeabilidad del suelo, aumentando la escorrentía durante los procesos de lluvia, y también ha provocado cambios en el microclima. Es importante aludir que la presencia de la vegetación como son los bosques y selvas, son considerados una medida de protección eficiente contra las inundaciones y la erosión, ya que los bosques y selvas tienen raíces de los árboles que tienden a estabilizar el suelo, contribuyendo al deslizamiento y la pérdida de suelo.

Los resultados de este estudio representan fundamentos científicos para un buen manejo del crecimiento y el desarrollo urbano sostenible, es decir, procurando un buen control de los escurrimientos en vialidades, pero sobre todo en el sistema de drenaje natural.

Los ensayos de simulación hidrológica permitieron evaluar y analizar procesos hidrológicos reales, que se presentan y se desarrollarán en la microcuenca 24 de Junio en periodos de, 5, 10, 20, 50 y 100 años.

Aunque las estimaciones georreferenciadas tienen ciertas limitantes, las variables que se analizan en este estudio, permiten tener una visión más clara de los factores que afectan y

alteran los fenómenos naturales, así como también tener las bases para una planificación adecuada y precisa.

Con base en los resultados, podemos afirmar que los objetivos planteados en el estudio, se han cumplido, es decir que lo expuesto en el documento, se puede utilizar para analizar, prevenir y atenuar riesgos de desbordamiento e inundación en la microcuenca 24 de Junio.

XII.- RECOMENDACIONES

Es conveniente realizar monitoreos en la microcuenca 24 de junio considerando una mejora en las estaciones climatológicas, lo cual permitirá medir en tiempo real las precipitaciones y escurrimientos.

Es necesario implementar actividades o acciones de corto plazo para la zona de riesgo de la microcuenca, para ello la propuesta del Instituto de Ciudadano de Planeación Municipal que presenta en el año 2020, es conveniente ya que implica acciones inmediatas y con un presupuesto bajo, es de vital importancia mejorar las condiciones de vida para la ciudadanía que habita en la microcuenca 24 de junio.

Se recomienda, tomar medidas de prevención ante riesgos de inundación, para la población, generando una cultura de recuperar y aumentar las áreas verdes, donde haya más árboles, y menos construcción. Con el tiempo el cambio climático gana fuerza, las sequías son más extremas y las precipitaciones son fuertes y extremas. Es importante invertir en el desarrollo de herramientas, modelos, metodologías de un plan de un manejo sostenible en la microcuenca 24 de junio. Así como también un plan de acción para concientizar a la población sobre la importancia de preservar y manejar nuestras áreas naturales.

Es de vital importancia no perder la poca cobertura de vegetación que se encuentra en la parte alta de la microcuenca 24 de junio; que los permisos de construcción de vialidades, edificios y viviendas se hagan con estricto apego a planes de ordenamiento y desarrollo urbano que prioricen la recuperación y cuidado de las condiciones naturales.

Es importante reforzar la educación ambiental ante la sociedad para poder tomar conciencia de las acciones del desarrollo urbano, como implementar platicas informativas en las colonias y fraccionamientos que abordan la microcuenca 24 de Junio, para sensibilizar, tomar conciencia, actitudes y participación, para reforestar la parte alta de la microcuenca, así mismo también impedir ante las autoridades que sigan en construcción de fraccionamientos y embovedados en el caudal.

XIII.- REFERENCIAS

- Alonso, P. (2005). Teorismo y desastres naturales, grandes desafíos del turismo. Recuperado 12 de abril de 2008 de finanzas, <http://www.com/id.8784267/noticias/noticia.htm>.
- Alvaro Alberto López-Lambraño¹ * Carlos Fuentes² Enrique González-Sosa³ Alvaro Alberto López-Ramos⁴ . (Jiutepec jul./ago. 2017). Pérdidas por intercepción de la vegetación y su efecto en la relación intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la lluvia en una cuenca semiárida¹. SciELO Analytics, vol.8 (10). <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-04-03>
- Allen Bateman. (2007). Hidrología Básica y Aplicada. Grupo De Investigacion En UPC [.https://www.upct.es/~Minaees/Hidrologia.Pdf](https://www.upct.es/~Minaees/Hidrologia.Pdf)
- Arias, F y Heredia, V.(2004). Administración de recursos humanos para el alto desempeño(5ta. Ed). México: Trillas.
- Arki, &Arki. (2021). Ciclo hidrológico. *Arkiplus*. <https://www.arkiplus.com/ciclo-hidrologico/>
- Aragón-Durand, F. (2014). *Inundaciones urbanas América Latina reducción del riesgo de inundación*. Gobierno de Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.11762/19850%0A>
- Aparicio F, Fundamentos de la hidrología de superficie. México D.F., ME: Editorial Limusa; 304 p (2015) .
- Bateman, A. 2007. Hidrología Básica y Aplicada. Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos. UniveritatPolitecnica de Catalunya, Barcelona.
- Cajamarca R. E. Estudio del balance hídrico superficial de las cuencas hidrográficas, sector Jadán y Zhidmad en el área de interceptación con el Bosque y Vegetación Protectora Aguarongo (BVPA) .BS tesis (2017).
- Casado, J.(2003). El valor de la persona. Nuevos principios para la gestión del capital humano. España: Prentice Hall.

- Consejo Nacional para la cultura y las artes (CONACULTA),(2008). Modelo de administración de riesgos. Consejo Nacional para la cultura y las Artes.
- Contreras, César Vences (2019). *Transpiración*. Universidad Autónoma del Estado de México.- Facultad De Ciencias Agrícolas.Coordinacion General de protección civil (2008). “Tu participación es tu protección”.
- Cotler, H.; Garrido, A.; Bunge, V. y Cuevas, M. L. 2010. Las Cuencas Hidrográficas de México: Priorización y toma de decisiones. Editor Cotler H. En: Las Cuencas Hidrográficas y priorización. SEMARNAT. Pp. 210-215.
- Dinosaurios meteorológicos de montaña: los totalizadores de precipitación. (s. f). Tiempo.com | Meteored. <https://www.tiempo.com/ram/809/dinosaurios-meteorologicos-de-montana/>
- Faustino, J. y Jiménez, F. 2000. Manejo de cuencas hidrográficas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.
- Finotti,A.R., Susin, N., Finkler, R., Silva, M.D., & Schneider, V.E. (2014). Development of a monitoring network of water resources in urban areas as a support for municipal environmental management. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 182, 133-143.
- Fbustosyc.cl.(2017, october 23). Los estomas y la transpiración en las plantas. PortalFruticola.com. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/03/04/los-estomas-y-la-transpiracion-en-las-plantas/>
- José de Jesús Návar Cháidez^{1‡}, Jorge Méndez González² y Humberto González Rodríguez³. (2007). Intercepción de la lluvia en especies de leguminosas del nordeste de México. SciELO Analytics, vol.26, pp. 116-130
- Juan Carlos Mora Chaparro ^{1 *}, Elvia Elizabeth Hernández Borges ² y Luis Leonel Mora Mora ³. (enero, 2023). Mapa de riesgos de inundación en la Microcuenca Hidrográfica 24 de Junio, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. REDER , 7, pp. 116-130.
- Gobierno del Estado, 2004. Atlas Estatal de Riesgos. Gobierno del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez. P.

Gobierno del Estado, 2009. Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Chiapas. Secretaría del Medio Ambiente y Vivienda del Gobierno del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Documento Inédito.

Hernández-Uribe, R.E., Barrios-Piña, H. & Ramírez, A.I. (2015). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 8(3), 5-25. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>

Loor, Y.S., Estudio del balance hídrico superficial de las cuencas hidrográficas sector San Juan y San Bartolomé en el área de interceptación con el Bosque y Vegetación Protector Aguarongo. BS tesis. (2017) .

López X.E., D.M. Patiño, Aplicación de modelos hidrológicos de las microcuencas del Área de Bosque y Vegetación Protector Aguarongo con enfoque al cambio climático. BS tesis. (2017).

Medley, K.; Okey, B.; Barrett, G.; Lucas, M. y Renwick, W. 1995. Landscape Change with Agricultural Intensification in a Rural Watershed, Southwestern Ohio, USA. *Landscape Ecology*. 3(10): 161-176.

Modelos básicos de pluviómetros. (s f c)
http://www.gisiberica.com/Pluvi%F3metros/MODELOS_PLUVIOMETROS.htm

Orellana, L. (Ed). (2008). Análisis de regresión.

Paneles Solares: Generadores de EnergiaElectrica.(n.d.).
<https://www.sabermas.umich.mx/archivo/tecnologia/133-numero-1755/268-paneles-solares-generadores-de-energia-electrica.html>

Perevochtchikova, M. & Lezama de la Torre, J.L. (2010). Causas de un desastre: Inundaciones del 2007 en Tabasco, Mexico. *Journal of Latin American Geography*, 9(2), 73-98. <https://doi.org/10.1353/lag.2010.0010>

Pluviómetro & Pluvímetro. (2017, 1 agosto). Climatología, Estación meteorológica: registro y análisis de datos. <https://y8meteorologiayexcel.wordpress.com/2017/08/01/pluviometro-pluvimetro/>

- Secretaría de Gobernación/Cenapred, 2001. Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. Secretaría de Gobernación/Centro Nacional de Prevención de Desastres. México, D. F. 231 P.
- Sedesol, 2004. Plan o Programa Municipal de Desarrollo Urbano. Guía metodológica. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del territorio. Dirección General de Desarrollo Urbano y Suelo. Secretaría de Desarrollo Social. México, D. F. Pp. 23
- Sadeghi, S., Attarod, P., Van Stan, J., Grant, T., &Dunkerley, D. (2015). Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201, 76-85.
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S2007-2422201700040003700036&lng=en]
- Salvador Lozano-Trejo Jaime Olazo-Aquino María I. Pérez-León Ernesto Castañeda-Hidalgo Gustavo O. Díaz-Zorrilla Gisela M. Santiago-Martínez .(20-Jun-2020). Infiltración y escurrimiento de agua en suelos de una cuenca en el sur de México. SciELO Analytics, vol.38 (4-10). <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.443>
- Shao, Q. and T. Baumgartl. 2014. Estimating input parameters for four infiltration models from basic soil, vegetation and rainfall properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 78: 1507-1521. doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj2014.04.0122>.
- UNESCO. 2003. Agua para todos, agua para la vida. Informe de las Naciones Unidas. Paris, Francia.
- Úbeda Rivera, José Saturnino; Delgado Dallatorre, Yader. (02 Julio 2018). Pérdidas por intercepción de la vegetación y su efecto en la relación intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la lluvia en una cuenca semiárida. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, vol. 4, , pp. ISSN-e: 2410-7980.
- Visión Mundial. 2004b. Manual de manejo de cuencas. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Canadá. Pp 104.
- WendorChereque Moran. (2003). Hidrologiapara Estudiantes de Ingeniería Civil. (Tesis Doctoral), Pontificia Universidad Católicadel Peru. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf>.

ANEXOS

Tabla 5.- Periodos de retorno 2 y 5 años de la microcuenca 24 de Junio.

TR 2 AÑOS		TR 5 AÑOS	
T(SEG)	PRECIP (MM)	T(SEG)	PRECIP (MM)
0	0	0	0
300	0.13	300	0.23
600	0.13	600	0.24
900	0.14	900	0.25
1200	0.14	1200	0.27
1500	0.15	1500	0.28
1800	0.16	1800	0.3
2100	0.18	2100	0.32
2400	0.19	2400	0.34
2700	0.2	2700	0.37
3000	0.22	3000	0.4
3300	0.25	3300	0.44
3600	0.27	3600	0.48
3900	0.29	3900	0.53
4200	0.33	4200	0.59
4500	0.38	4500	0.67
4800	0.42	4800	0.77
5100	0.5	5100	0.9
5400	0.6	5400	1.08
5700	0.75	5700	1.33
6000	0.96	6000	1.73
6300	1.31	6300	2.37
6600	1.98	6600	3.56
6900	3.5	6900	6.3
7200	8.82	7200	15.87
7500	5.2	7500	9.36

7800	2.56	7800	4.61
8100	1.59	8100	2.85
8400	1.11	8400	2
8700	0.84	8700	1.51
9000	0.66	9000	1.2
9300	0.55	9300	0.99
9600	0.47	9600	0.84
9900	0.4	9900	0.72
10200	0.35	10200	0.63
10500	0.31	10500	0.56
10800	0.28	10800	0.5
11100	0.25	11100	0.46
11400	0.23	11400	0.42
11700	0.22	11700	0.38
12000	0.2	12000	0.36
12300	0.18	12300	0.34
12600	0.18	12600	0.31
12900	0.17	12900	0.29
13200	0.16	13200	0.28
13500	0.15	13500	0.26
13800	0.14	13800	0.25
14100	0.13	14100	0.23
14400	0.12	14400	0.23

Tabla 6.- Periodos de retorno 10 y 20 años de la microcuenca 24 de Junio.

TR 10 AÑOS		TR 20 AÑOS	
T(SEG)	PRECIP (MM)	T(SEG)	PRECIP (MM)
0	0	0	0
300	0.3	300	0.38
600	0.32	600	0.41
900	0.34	900	0.42
1200	0.35	1200	0.44
1500	0.38	1500	0.48
1800	0.4	1800	0.5
2100	0.43	2100	0.54
2400	0.46	2400	0.58
2700	0.49	2700	0.62
3000	0.53	3000	0.67
3300	0.58	3300	0.73
3600	0.64	3600	0.8
3900	0.71	3900	0.88
4200	0.8	4200	0.99
4500	0.9	4500	1.12
4800	1.03	4800	1.29
5100	1.21	5100	1.51
5400	1.45	5400	1.81
5700	1.79	5700	2.24
6000	2.31	6000	2.88
6300	3.16	6300	3.95
6600	4.76	6600	5.95
6900	8.43	6900	10.54
7200	21.2	7200	26.54
7500	12.5	7500	15.64

7800	6.15	7800	7.71
8100	3.82	8100	4.78
8400	2.67	8400	3.35
8700	2.01	8700	2.53
9000	1.6	9000	2
9300	1.31	9300	1.65
9600	1.11	9600	1.39
9900	0.96	9900	1.2
10200	0.84	10200	1.06
10500	0.74	10500	0.94
10800	0.68	10800	0.85
11100	0.61	11100	0.76
11400	0.56	11400	0.7
11700	0.52	11700	0.65
12000	0.48	12000	0.59
12300	0.44	12300	0.55
12600	0.42	12600	0.52
12900	0.39	12900	0.49
13200	0.37	13200	0.46
13500	0.35	13500	0.44
13800	0.33	13800	0.41
14100	0.32	14100	0.39
14400	0.3	14400	0.38

Tabla 7.- Periodos de retorno 50 y 100 años de la microcuenca 24 de Junio.

TR 50 AÑOS		TR 100 AÑOS	
T(SEG)	PRECIP (MM)	T(SEG)	PRECIP (MM)
0	0	0	0
300	0.49	300	0.57

600	0.51	600	0.59
900	0.53	900	0.62
1200	0.56	1200	0.65
1500	0.6	1500	0.69
1800	0.64	1800	0.74
2100	0.68	2100	0.79
2400	0.73	2400	0.85
2700	0.79	2700	0.91
3000	0.85	3000	0.99
3300	0.93	3300	1.07
3600	1.01	3600	1.18
3900	1.12	3900	1.3
4200	1.25	4200	1.46
4500	1.42	4500	1.65
4800	1.63	4800	1.89
5100	1.91	5100	2.22
5400	2.29	5400	2.65
5700	2.83	5700	3.28
6000	3.65	6000	4.24
6300	5	6300	5.8
6600	7.54	6600	8.73
6900	13.34	6900	15.46
7200	33.59	7200	38.92
7500	19.8	7500	22.95
7800	9.75	7800	11.3
8100	6.05	8100	7.01
8400	4.24	8400	4.9
8700	3.19	8700	3.7
9000	2.54	9000	2.94
9300	2.09	9300	2.42

9600	1.76	9600	2.04
9900	1.52	9900	1.76
10200	1.34	10200	1.54
10500	1.19	10500	1.37
10800	1.07	10800	1.24
11100	0.97	11100	1.12
11400	0.88	11400	1.02
11700	0.81	11700	0.94
12000	0.75	12000	0.87
12300	0.7	12300	0.81
12600	0.66	12600	0.76
12900	0.62	12900	0.72
13200	0.58	13200	0.68
13500	0.56	13500	0.64
13800	0.52	13800	0.61
14100	0.5	14100	0.57
14400	0.47	14400	0.54